



CURSO DE BACHARELADO ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS GAMA MARQUES

**AVALIAÇÃO TÉCNICO FINANCEIRO NA MUDANÇA DE FCK EM
PILARES INTERMEDIÁRIOS DE CONCRETO ARMADO**

Sinop/MT

2024

CURSO DE BACHARELADO ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS GAMA MARQUES

**AVALIAÇÃO TÉCNICO FINANCEIRO NA MUDANÇA DE FCK EM
PILARES INTERMEDIÁRIOS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca Avaliadora do Departamento de Engenharia Civil, do Centro Universitário Fasipe UNIFASIPE, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador(a): Pedro Matiazzi da Silva

Sinop-MT

2024

MATHEUS GAMA MARQUES

**AVALIAÇÃO TÉCNICO FINANCEIRO NA MUDANÇA DE FCK EM
PILARES INTERMEDIÁRIOS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca Avaliadora do curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Fasipe UNIFASIFE, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: / /2024.

Professor(a) Orientador(a):
Departamento de – UNIFASIFE

Professor(a) Avaliador(a)
Departamento de – UNIFASIFE

Professor(a) Avaliador(a)
Departamento de – UNIFASIFE

Professor(a) Avaliador(a)
Departamento de – UNIFASIFE

Sinop-MT

2024

DEDICATÓRIA

A todas as pessoas da minha família, que me ajudaram e acreditaram em mim, em especial minha mãe e minha avó.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, Jeová Deus, pois se não fosse Ele, não teria conquistado nada.

Aos meus pais que me ajudaram a estar onde estou, sem ajuda deles nada sou.

Aos meus amigos e colegas de curso que promoveram momentos marcantes durante essa trajetória.

Aos professores do curso que transmitiram os conhecimentos necessários.

RESUMO

O trabalho de conclusão de curso (TCC) intitulado “Avaliação Técnico Financeira na Mudança de FCK em Pilares Intermediários de Concreto Armado” aborda o desenvolvimento e análise de pilares de concreto armado. O objetivo é avaliar a eficiência da alteração do FCK do concreto e sua influência no custo e desempenho dos pilares. Foram realizados cálculos de dimensionamento com base no método de Araújo. Observou-se uma redução significativa nos custos totais (55,98%) ao modificar o FCK. O estudo destaca a importância de considerar o FCK na concepção estrutural, visando à economia e à eficiência das edificações. A pesquisa contribui para a otimização de recursos e a eficiência na construção civil.

Palavras-Chaves: Concreto, Concreto Armado, Elementos Estruturais, Tipos de Pilares.

MARQUES, Maheus Gama, **Financial Technical Assessment in FCK Change in Intermediate Reinforced Concrete Pillars**. 2024. 50 sheets. Course Completion Work – University Center – UNIFASIPE.

ABSTRACT

The course conclusion work (TCC) entitled “Technical Financial Assessment in the Change of FCK in Intermediate Reinforced Concrete Pillars” addresses the development and analysis of reinforced concrete columns. The objective is to evaluate the efficiency of changing the FCK of the concrete and its influence on the cost and performance of the columns. Sizing calculations were carried out based on the Araújo method. A significant reduction in total costs (55.98%) was observed when modifying the FCK. The study highlights the importance of considering FCK in the structural conception, aiming at the economy and efficiency of buildings. The research contributes to the optimization of resources and efficiency in civil construction.

Keywords: Concrete, Reinforced Concrete, Structural Elements, Types of Columns.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação dos esforços	17
Figura 2 – Modos de Solicitação e Formação de Fissuras.....	20
Figura 3: Comportamento de Estruturas de Concreto Armado	21
Figura 4: Edifício Copan	22
Figura 5: Viga Bi apoiada	29
Figura 6: Pilar e seção transversal.....	30
Figura: 7 Fundação.....	30
Figura 8: Pilares em suas posições.....	31
Figura 9: Situações do pilar na direção “X” para cálculos de dimensionamento.....	34
Figura 10: Pilar intermediário P1 primeira seção.....	36
Figura 11: Pilar intermediário P2 primeira seção.....	44
Figura 12: Pilar intermediário P2 primeira seção.....	52
Figura 13: Pilar intermediário P2 primeira seção.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	18
Tabela 2: valores de ponderação segundo a NBR 6118.....	23
Tabela 3: Classes de agressividade ambiental	24
Figura 4: Correspondência entre a classe de agressividade e o cobrimento mínimo.....	2
Tabela 5: Patologias nas etapas de uma construção.....	28
Tabela 6: Cálculos realizados para a seção 20x40cm.....	32
Tabela 7: Preço médio do concreto, por m ³	33
Tabela 8: Preço médio do aço, por barra 12m.....	33
Tabela 9: valores P1.....	36
Tabela 10: Valores de W para o dimensionamento.....	37
Tabela 11: Interpolação de v e μ na direção X.....	37
Tabela 12: Valores de W para o dimensionamento na direção Y.....	43
Tabela 13: Interpolação de v e μ na direção Y.....	43
Tabela 14: valores P2	44
Tabela 15: Valores de W para o dimensionamento.....	47
Tabela 16: Interpolação de v e μ na direção X.....	48
Tabela 17: Valores de W para o dimensionamento na direção Y.....	50
Tabela 18: Interpolação de v e μ na direção Y.....	51
Tabela 19: valores P3.....	51
Tabela 20: Valores de W para o dimensionamento.....	55
Tabela 21: Interpolação de v e μ na direção X.....	55
Tabela 22: Valores de W para o dimensionamento na direção Y.....	58
Tabela 23: Interpolação de v e μ na direção Y.....	58
Tabela 24: valores P3.....	59
Tabela 25: Valores de W para o dimensionamento.....	62
Tabela 26: Interpolação de v e μ na direção X.....	63
Tabela 27: Valores de W para o dimensionamento na direção Y.....	65
Tabela 28: Interpolação de v e μ na direção Y.....	65
Tabela 29: Uso de aço em cada situação de cálculo.....	66
Tabela 30: Resumo de custos 25Mpa	67
Tabela 31: Resumo de custos 30Mpa.....	67
Tabela 32: Resumo de custos 40Mpa.....	67

Tabela 33: Resumo de custos 50Mpa.....	68
Tabela 34: Desconto dos valores totais do FCK de 25 para o 30.....	70
Tabela 35: Desconto dos valores totais do FCK de 30 para o 40.....	70
Tabela 36: Desconto dos valores totais do FCK de 40 para o 50.....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Percentual dos custos relacionados aos materiais.....	68
Gráfico 2: Percentual dos custos relacionados aos materiais.....	69
Gráfico 3: Percentual dos custos relacionados aos materiais.....	69
Gráfico 4: Percentual dos custos relacionados aos materiais.....	71

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas
NBR – Norma brasileira
FCK – Fator de compressão característica do concreto
 $E1$ – Excentricidade de primeira ordem
 $E2$ – Excentricidade de segunda ordem
 E_c – Excentricidade de fluência
 L_e – Comprimento de flambagem
 P_{ex} – Carga de Euler
 RH – Umidade relativa do ar
 F_k – Carga de força normal
 β – Índice de esbeltez
 I_c – Momento de inércia
 A_c – Área de concreto
 U – Perímetro do pilar
 A_s – Área de aço
Mpa – Mega Pascal
Kn – Quilo Newton
Cm – Centímetros
Mm – Milímetros
M – Metros
Mk – Momento fletor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Justificativa.....	14
1.2 Problematização.....	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Geral.....	15
1.3.2 Específicos.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Concreto	16
2.2 Concreto Armado.....	19
2.2.1 Estados limites.....	22
2.2.2 Coeficientes de ponderação de resistência.....	23
2.2.3 Agressividade Ambiental	23
2.2.4 Vida útil de projeto.....	24
2.2.5 Cobrimento das armaduras.....	24
2.2.6 Concepção estrutural	25
2.3 Feature Compression Know (FCK).....	25
2.3.1 Análise estrutural.....	27
2.4 Elementos Estruturais.....	29
2.4.1 Tipos de pilares.....	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 Cálculos Método Araújo.....	32
3.1.1 Considerações da Fluência do Concreto.....	35
3.2 Cálculos de Dimensionamento	36
3.2.1 Cálculo 1.....	36
4. RESULTADOS.....	66
4.1 Valores para o Cálculo 1.....	67
4.2 Valores para o Cálculo 2.....	67
4.3 Valores para Cálculo 3.....	67
4.4 Valores para o Cálculo 4.....	68
5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	68
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	72
6.1 Comentários Gerais e Conclusões.....	72
6.2 Sugestões.....	73
REFERÊNCIAS.....	74

1. INTRODUÇÃO

No vasto mundo da engenharia civil, a utilização do concreto é elemento que transcende as épocas e as fronteiras geográficas. Ao longo dos anos, o desenvolvimento e a evolução desse material têm sido de fundamental importância para o avanço das construções modernas. Desde os primeiros registros históricos de sua utilização até as mais recentes inovações tecnológicas, o concreto tem desempenhado um papel crucial na construção de estruturas sólidas e duradouras (RONG, 2023).

Dentre as diversas vertentes do concreto, destaca-se o Fator de Resistência do Concreto, uma medida essencial que define a capacidade de suportar cargas estruturais. Compreender os fundamentos por trás da resistência característica à compressão do concreto é fundamental para garantir a segurança e a eficácia das estruturas construídas, desde edifícios residenciais até grandes obras de infraestrutura (SCHNEIDER, 2020).

Saber os conceitos básicos do concreto e do concreto armado, abordando suas características, propriedades e aplicações é de importância. Além disso, a importância do FCK de concreto e sua influência no projeto e na execução de obras civis. Por meio dessa análise, buscamos fornecer uma visão abrangente sobre esse tema tão relevante para a engenharia civil contemporânea (ROBLES; GUCUNSKI; KEE, 2024).

O concreto armado é uma das técnicas mais fundamentais e revolucionárias. Essa abordagem combina duas substâncias poderosas: o concreto e o aço. O concreto, por sua vez, é conhecido por sua excelente capacidade de resistir à compressão, enquanto o aço é altamente eficaz em resistir a forças de tração. Ao unir esses materiais, os engenheiros conseguiram superar algumas das limitações inerentes a cada um deles individualmente. A técnica de concreto armado permite criar estruturas que são capazes de suportar cargas pesadas e desafios ambientais. As armaduras de aço são inseridas na matriz de concreto, proporcionando resistência adicional em áreas onde o concreto puro seria insuficiente. Essas barras de aço são

colocadas estrategicamente nas regiões onde se espera que a estrutura seja submetida a forças de tração, enquanto o concreto fornece a resistência necessária à compressão (NETO, 2017).

A combinação do concreto e do aço abre uma gama incrível de possibilidades para os engenheiros civis. Edifícios altos, pontes expansivas, viadutos e até mesmo estruturas subaquáticas podem ser construídas com segurança e eficiência utilizando o concreto armado. A versatilidade desse método é notável, permitindo a criação de estruturas personalizadas para atender às necessidades específicas de cada projeto. Além da capacidade de suportar cargas, o concreto armado também oferece benefícios em termos de durabilidade e resistência ao desgaste. Isso é particularmente importante em ambientes desafiadores, como regiões costeiras, onde as estruturas estão sujeitas à corrosão devido à exposição à água salgada e ao vento (ROLIM, 2022).

1.1. Justificativa

No campo da engenharia civil, o estudo e compreensão das propriedades do concreto são essenciais para o desenvolvimento de estruturas seguras e eficientes. Dentre essas propriedades, o FCK (Fator de Resistência do Concreto) desempenha um papel fundamental ao determinar a capacidade de suportar cargas estruturais. Ao longo dos anos, tem-se observado um interesse crescente em investigar os efeitos do aumento no FCK do concreto e suas implicações na concepção e dimensionamento de pilares e estruturas (ELLIOTT; HAMID, 2017).

Este estudo reside na necessidade de compreender como o aumento no FCK do concreto pode impactar a segurança, durabilidade e eficiência das estruturas construídas e um possível aumento do espaço. À medida que as demandas por edifícios mais altos, pontes mais longas e infraestruturas mais robustas aumentam, torna-se imperativo explorar maneiras de melhorar o desempenho do concreto em condições de carga mais extremas. (ASCE, 2021).

1.2 Problematização

A resistência característica à compressão do concreto (FCK) é um parâmetro crucial no projeto de estruturas de concreto armado, como pilares. A variação do FCK pode ter implicações significativas na segurança e desempenho dessas estruturas. Este trabalho busca explorar possibilidades da sua alteração, suas implicações no valor e desempenho dos pilares.

Através de uma análise detalhada, este trabalho visa fornecer uma compreensão do que muda caso o FCK do concreto seja alterada e oferecer soluções mais econômicas para engenheiros e construtores. Dito isso, surge a pergunta: Como as estratégias da mudança do

FCK podem ser benéficas na prática para melhorar o desempenho e diminuir o custo dos pilares intermediários de concreto armado?

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Realizar uma análise comparativa entre diferentes FCK do concreto de pilares intermediários vendo sua economia na armadura e seu valor final.

1.3.2 Específicos

- Comparar os custos diretos associados à aquisição de aço usado em cada pilar de uma estrutura.
- Analisar como cada FCK pode ser benéfico para a estrutura e seu desempenho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A construção civil é um setor que constantemente busca inovações e melhorias em seus materiais e métodos. Neste contexto, o concreto se destaca como um dos materiais mais utilizados mundialmente, devido à sua versatilidade e resistência. A qualidade do concreto é determinante para a segurança e durabilidade das estruturas de concreto armado, sendo o FCK (Resistência Característica à Compressão) um parâmetro técnico fundamental na definição de suas propriedades, a alteração dele pode resultar inúmeros resultados, podendo ser benéfica ou não (SCHNEIDER, 2020).

2.1 Concreto

O cimento Portland teve sua produção industrial instituída em 1850. Onde seu componente essencial é o clínquer, que é a combinação de rocha calcária moída e argila com alguns complementos químicos, exposta a uma temperatura de 1.450° C e após o aquecimento, um resfriamento formando o clínquer. Posteriormente é acrescentado de 3% a 5% de sulfato de cálcio para controlar o tempo de pega (BASTOS, 2019).

O concreto é amplamente empregado por 3 razões principais das quais são: primeira sua versatilidade em termos de tamanhos e formas, segunda sua resistência à água, terceira o custo acessível e disponibilidade. O concreto é uma mistura composta por aglomerantes que unem partículas, que geralmente são rocha britada, areia, pedrisco, escória de alto-forno... com isso forma-se a massa, resultante da reação química da água e o cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Conforme a NBR 6118:14 para realizar uma estrutura de concreto que tem função estrutural e necessita de aderência entre o concreto e a armadura, projetos devem seguir também a NBR 7480 com o valor específico da resistência de escoamento nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60. As seções transversais e diâmetros são determinadas pela NBR 7480.

Itens com diâmetro nominal de 6,3mm ou mais são classificados como barras, obtidos exclusivamente por laminação a quente, sem qualquer processo subsequente de deformação mecânica. Por outro lado, itens de diâmetro nominal de 10mm ou menos, obtidos a partir de fio-máquina por laminação à frio ou trefilação, são chamados de fios. As barras de aço são categorizadas como CA-25 e CA-50, enquanto os fios de aço são classificados na categoria CA-60, de acordo com o valor da resistência ao escoamento, tanto os fios quanto as barras, que são destinadas para armadura de concreto armado, devem apresentar homogeneidade em suas propriedades geométricas de acordo com a NBR 7480.

Os concretos para fins estruturais são classificados nos grupos I e II pela norma NBR 8953:2015, definidos através da sua característica à compressão, sendo eles:

Grupo I: C20, C25, C30, C35, C40, C45, C50.

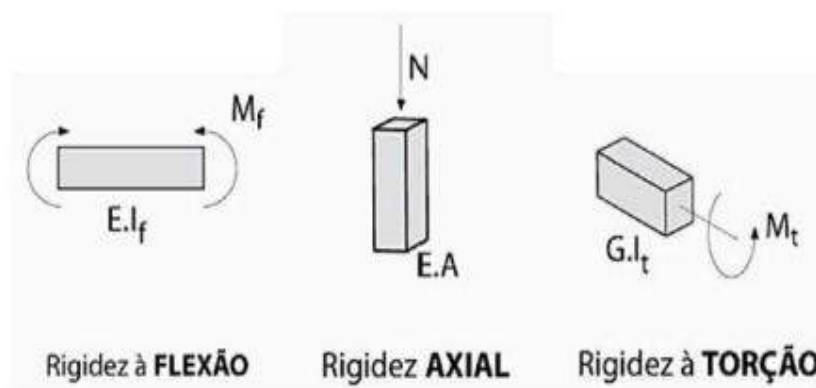
Grupo II: C55, C60, C70, C80, C90, C100.

O valor numérico no nome do concreto indica a resistência característica à compressão (f_{ck}), por exemplo, Concreto C30 ($f_{ck}=30\text{Mpa}$). A resistência à compressão do concreto é influenciada por diversos fatores, incluindo a quantidade e qualidade dos materiais utilizados para sua fabricação.

Concretos como o C10 e C15 não são mais aplicados para fins estruturais, podendo ser usado o C15 apenas para obras provisórias de acordo com a NBR 8953:2015.

Na engenharia civil, rigidez é um termo usado para descrever o nível de resistência de um elemento. Existem 3 tipos de esforços que podem ser aplicados a um elemento rígido, elas são: Flexão, axial e torção. São definidos respectivamente pela aplicação de um momento fletor, uma força normal e um momento de torção, na figura 1 mostra a representação de cada esforço (KIMURA, 2007).

Figura 1: Representação dos esforços



Fonte: Kimura 2007

O concreto em um sentido amplo é feito de qualquer produto ou massa produzido a partir de um meio cimentante. Esse meio é o resultado da reação de um cimento e água, porém, atualmente essa mesma definição pode englobar diversos produtos. O concreto pode ser fabricado com diversos tipos de cimentos, podendo ser adicionados pozolanas, cinza volante e escória de alto-forno. Além disso, podem ser aquecidos, curados à vapor e tratados à vácuo, com essa diversidade de possibilidades existem nomenclaturas para tipos de cimento, os mais usados estão na NBR 16697, Na Tabela 1 os tipos de cimentos (NEVILLE, 2013).

Tabela 1: Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo		
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC		
	Com adição	CP I-S				
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E				
	Com material cabonático	CP II-F				
	Com material pozalânico	CP II-Z				
Cimento Portland de alto-forno		CP III				
Cimento Portland pozolânico		CP IV				
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI			
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40			
	Não estrutural	CPB	-	-		

Fonte: NBR 16697 (2018) - adaptado pelo autor

De acordo com Martin (2005), concreto é um dos elementos principais da nossa civilização, se feita uma seleção correta dos componentes ou apenas mudar alguns elementos pode alterar significativamente seu desempenho, podendo alterar sua durabilidade e acabamento seus elementos principais são:

- **Aglomerantes:** Responsável por unir os fragmentos de outros materiais, em geral é utilizado o cimento Portland, que reage com a água e endurece com o passar do tempo.
- **Agregados:** São as partículas minerais que servem para aumentar o volume da mistura, que se dividem em dois grupos, os agregados graúdos que geralmente é usado pedras e os agregados miúdos que geralmente é usado areia.
- **Pasta:** Resultante das reações químicas do cimento com a água, que quando há excesso denomina-se nata.
- **Argamassa:** É a mistura de cimento, água e agregado miúdo, ou seja, pasta com agregado miúdo.

Um concreto simples é formado por cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo, após seu endurecimento ele apresenta uma boa resistência à compressão, porém baixa a tração e seu comportamento é frágil, ou seja, rompe com pequenas deformações (ANDRADE, 2016).

No concreto existem algumas restrições que necessitam providências adequadas para lidar, tais como: baixa resistência à tração, fragilidade, fissuração, peso próprio elevado, custo com formas para moldagem, devido a isso na preparação deve-se efetuar a cura certa, dosagem correta e variabilidade dos agregados (FIGUEIREDO, 2005).

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), o concreto tem uma frequência na construção civil devido há três causas: primeira devido à sua impermeabilização, ou seja, sua resistência à água, segunda é sua maleabilidade de formas e tamanhos e a terceira é um certo custo baixo e disponibilidade dos materiais que compõe sua formação.

Como o concreto tem uma resistência baixa à tração existe uma forma de contornar isso com a adição de aço no concreto, isso denomina-se concreto armado, a junção de concreto e aço faz com que esse elemento tenha uma boa resistência à compressão e a tração, possibilitando desenvolver diversas estruturas, o aço fica envolvido pelo concreto resultando como uma proteção contra corrosão (BASTOS, 2019).

2.2 Concreto Armado

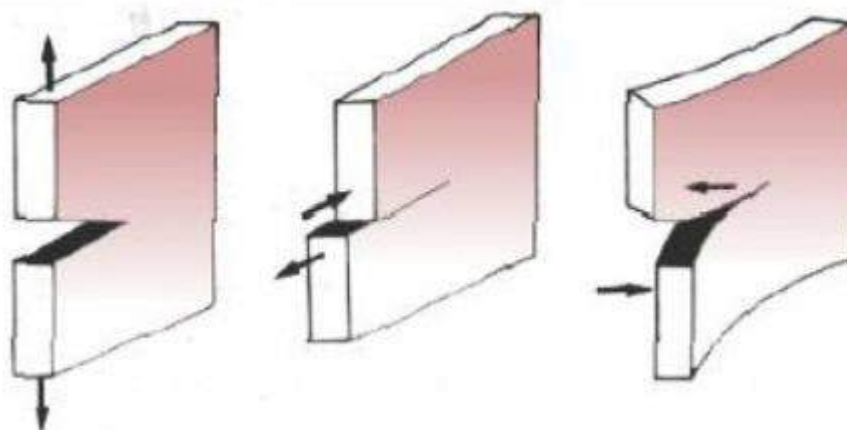
O concreto armado é o material construtivo com mais utilização no mundo, é destacado pelo seu desempenho e economia, devido o concreto ser muito resistente a força axial de

compressão, mas não à tração, utilizar apenas o concreto torna algo muito limitado, quanto à uma estrutura faz necessária a resistência a tração e compressão combinadas, temos o concreto armado, onde se utiliza o aço já que o mesmo apresenta uma boa resistência à tração (PORTO; FERNANDES, 2015).

Ao passar dos anos, as construções de concreto armado vêm se consolidando cada vez mais, como uma das figuras principais da construção civil. Embora o avanço tecnológico tenha trazido processos que aumentam a vida útil do concreto armado, ainda há muitos defeitos, como a degradação. (MOREIRA, 2022).

Há maneiras de se verificar danos e analisar se o concreto feito está atingindo o resultado esperado, tais como um corpo de prova onde após o tempo de cura é efetuado o rompimento e verificado sua resistência, e de acordo com a fissura ou trinca é possível realizar uma análise mais precisa, existem 3 possíveis modos de trincas ou fissuras. O modo 1 é caracterizado por uma força de tração unidirecional, modo 2 caracterizado pelo escorregamento entres as faces da fissura, uma força cisalhante aplicada paralela ao defeito e o modo 3 também, porém atuando na perpendicular da fissura (VIEIRA; MOLIN, 2011).

Figura 2 – Modos de Solicitação e Formação de Fissuras.



Fonte: Santos; Souza; Bittencourt 2003

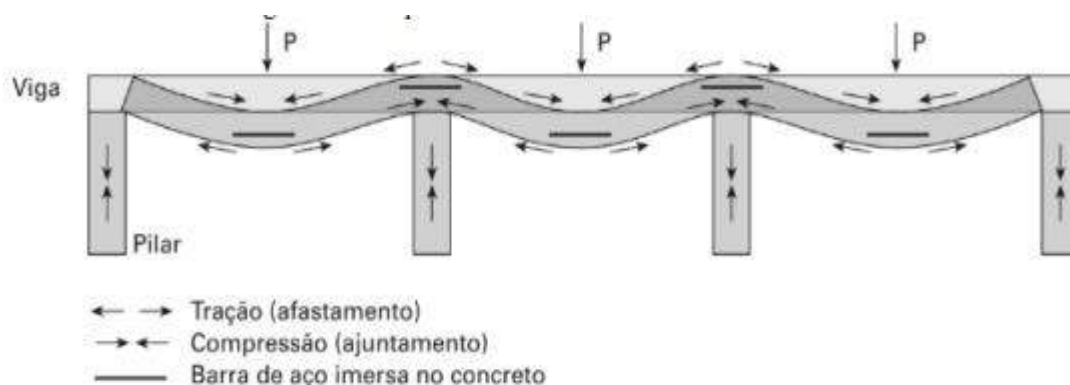
Algumas das vantagens de se utilizar o concreto armado é que ele pode ser 20% mais barata que estruturas metálicas, exceto quando há vãos muito grandes para ser enfrentados, material durável e capaz de aguentar uma carga alta e com o passar do tempo sua durabilidade aumenta, desde que seja utilizada corretamente, como é um material maleável sua arquitetura pode ser aplicada de diversos tamanhos e formas, apresenta uma alta resistência ao desgaste mecânico e ao fogo (ACME, 2013).

Apesar disso o concreto armado também possui sérias desvantagens, tais como: grande peso-próprio, sua reforma e demolição gera muitos resíduos e podem ser de grande dificuldade ou até mesmo impossível de ser executada, baixa proteção térmica, custo das formas usada para a moldagem dos elementos do concreto armado dependendo do tamanho podem ser relativamente onerosas (SOUZA, 2012).

O concreto armado pode ser utilizado em todos os tipos de obras, como prédios, pontes, estádios, usinas, rodovias e afins. O uso de concreto protendido em obras de médio e pequeno porte se torna algo inviável, pois seu custo é muito elevado trazendo assim mais uma vez o concreto armado como uma opção que se matem adequada por alguns séculos (BOTELHO, 2011).

O concreto é uma pedra artificial que, assim como outras pedras, contém uma grande resistência. No entanto, a capacidade de resistência à tração é significativamente baixa, para superar essa limitação do concreto através de diversos estudos foram conduzidos para empregar um segundo material às estruturas de concreto, sendo ele o aço que após testes se mostrou a melhor opção para suprir a essa necessidade, que resulta no concreto armado (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2003).

Figura 3: Comportamento de Estruturas de Concreto Armado



Fonte: BOTELHO; MARCHETTI, 2019.

Na figura 3, acima mostra-se o comportamento de estruturas de concreto armado. Nessa ilustração identifica-se os pontos de carga, áreas de compressão e áreas de tração. Para resistir a essas tensões são dimensionadas armaduras de aço. Alguns pontos da viga são sujeitos à compressão, mesmo que não seja necessário o dimensionamento de barras de aço elas ainda sim são inseridas nos projetos. Isso ocorre devidos às condições de elasticidade do aço em relação ao concreto e a economia de área de concreto nas estruturas (BOTELHO; MARCHETTI, 2019).

O concreto armado foi um material revolucionário na arquitetura moderna. Sua capacidade de suportar grandes estruturas e vencer vãos maiores com menos pilares e vigas fez com que o concreto armado se tornasse essencial. Além disso, sua flexibilidade e facilidade de modelagem permitiu a criação de obras nos mais variados formatos. Um exemplo notável é o edifício de Copan, projetado pelo arquiteto brasileiro Oscar Niemeyer em São Paulo. O Copan possui uma estrutura curva em formato de um “S”, o que mostra a grande versatilidade do concreto armado (CRUZ, 2021).

Figura 4: Edifício Copan



Fonte: CRUZ, 2021.

Embora não pareça um material antigo, o concreto armado já era utilizado nos tempos do império Romano, por volta de 400 a.C., como base para a maioria das construções da época, porém não possuía o refinamento e a eficiência que tempos no tempo atuais, A primeira utilização do concreto armado foi datada em 1849, quando o inventor Lambot construiu um barco utilizando finas malhas de aço e argamassa. Esse marco gerou uma série de estudos e revolucionou a forma de construir (REGANATI, 2019).

2.2.1 Estados limites

A NBR 6118 (ABNT 2014), traz como critérios de segurança para estruturas de concreto armado a verificação do estado-limite de último (ELU) e o estado-limite de serviço

(ELS). Onde o ELU é o estado que se ocorrer na obra ou edificação pode determinar a paralisação em parte ou total da obra e o uso da edificação.

O ELS é o estado que caso ocorra, não respeitam as condições especificadas, tais como flecha elevada que pode causar dificuldade no fechamento de portas e janelas e que com o tempo podem comprometer a durabilidade da estrutura.

Para Carvalho (2014) o Estado Limite Último (ELU) é aquele em que a estrutura não pode mais ser utilizada devido ao esgotamento de sua capacidade resistente e ao risco iminente de colapso. Geralmente, antes de romper, a estrutura apresenta indícios como rachaduras, barulhos nas paredes ou nos elementos estruturais.

Segundo Clímaco (2008), os Estados Limites de Serviço são alcançados quando a estrutura deixa de atender aos requisitos específicos da construção sob condições normais de uso. No entanto, esses estados não estão associados a riscos de colapso da estrutura.

2.2.2 Coeficientes de ponderação de resistência

Também na NBR 6118 apresenta valores que devem ser utilizados para ponderar as resistências dos elementos de concreto armado, o aço e o concreto, como mostra na tabela 2.

Tabela 2: valores de ponderação segundo a NBR 6118

Combinações	Concreto	Aço
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

Fonte: NBR 6118 – Adaptado

Esses coeficientes estão relacionados as combinações de cargas da estrutura, onde para realização de cálculos utilizar para diminuir as resistências do concreto e aço para obter maior segurança.

2.2.3 Agressividade Ambiental

No ambiente existem vários agentes agressivos tanto para o concreto quanto para o aço, tais como sulfatos, cloretos e gás carbônico. A NBR 6118 traz diversas classes de agressividade que devem ser consideradas para execução e cálculos para estruturas de concreto

armado, por isso existe um cobrimento mínimo para elementos de concreto armado, que serve para proteção da armadura, na tabela 3 mostra as classes de agressividade ambiental.

Tabela 3: Classes de agressividade ambiental

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

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: NBR 6118 ABNT, 2014.

2.2.4 Vida útil de projeto

Na NBR 6118:2014, a vida útil de uma estrutura é determinada pela sua capacidade de resistir às influências ambientais previstas e definidas pelo projetista e pelo solicitante do projeto. Nas estruturas de concreto, o projeto deve considerar as condições ambientais previstas na época da elaboração do mesmo, garantindo que, quando utilizadas para os fins que foram projetadas, elas mantenham sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço por um período de 50 anos, sem medidas extremas de reparos ou manutenções.

2.2.5 Cobrimento das armaduras

De acordo com Carvalho (2014), o cobrimento mínimo refere-se à distância livre entre a face da peça estrutural e a camada de barras mais próxima dessa face. Essa medida tem como objetivo criar uma camada de proteção para a armadura. De acordo com a NBR 6118:2014, o cobrimento nominal é obtido por meio de um acréscimo de tolerância durante a execução, em relação ao mínimo estabelecido como mostra na figura 5.

Figura 4: Correspondência entre a classe de agressividade e o cobrimento mínimo

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^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, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NBR 6118:2014.

2.2.6 Concepção estrutural

A fase de concepção estrutural envolve a integração dos elementos no projeto arquitetônico. Durante essa etapa, é importante preservar a estética dos ambientes, minimizando a poluição visual dos ambientes as esconder a parte estrutural por trás das paredes e outros recursos. Para a concepção estrutural é fundamental compreender a finalidade e as necessidades da construção. A partir desse entendimento, é possível projetar uma estrutura que atenda a todos os requisitos, garantindo sua resistência aos esforços verticais e os esforços horizontais.

2.3 Feature Compression Know (FCK)

O FCK, ou resistência característica do concreto à compressão, é um parâmetro crucial para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas de concreto. Representado pela sigla FCK, que vem do inglês “Feature Compression Know”, este valor é determinado através de normas técnicas e testes rigorosos, como os estabelecidos pela ABNT. O FCK é expresso em MegaPascal (MPa), uma unidade de medida que quantifica a capacidade do concreto de suportar cargas sem sofrer deformações significativas. A precisão na determinação do FCK é

essencial, pois um valor inadequado pode resultar em fissuras, trincas ou até mesmo no colapso da estrutura. Portanto, compreender e aplicar corretamente o FCK no cálculo estrutural é fundamental para a integridade das obras de concreto (APL, 2020).

De acordo com a NBR 6118:2014 quando não é feito os ensaios específicos, os valores de resistência do concreto à tração direta podem ser obtidos através do FCK pelas equações:

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ct,m}$$

Onde:

$f_{ctk,inf}$ = Resistência característica à tração limite inferior;

$f_{ct,m}$ = Resistência à tração direta

$$f_{ctk,sup} = 1,3 \cdot f_{ct,m}$$

Onde:

$f_{ctk,sup}$ = Resistência característica à tração limite superior

- Para concreto do grupo I:

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

- Para concreto do grupo II, até 90 Mpa:

$$f_{ct,m} = 2,2 \cdot \ln(1 + 0,11 \cdot f_{ck})$$

Para o módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial (E_{ci}), na falta de ensaio, a mesma NBR 6118:2014 prescreve as equações:

- Para concreto do Grupo I:

$$E_{ci} = a_e \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

- Para concreto do Grupo II

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot a_e \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} - 1,25\right)^{\frac{1}{3}}$$

2.3.1 Análise estrutural

Compreendido por Martha (2017), existem modelos de análise em estruturas, definidos em quatro níveis. O Modelo Real, que é como a estrutura é construída; Modelo Matemático, onde o comportamento da estrutura é idealizado através de cálculos; Modelo Discreto, versão discretizada do modelo estrutural, emprega variáveis hiperestáticas para produzir soluções fundamentais que posteriormente podem ser submetidas ao processo de superposição. Por fim Modelo Computacional, onde é feito utilizando métodos iterativos, baseando-se em elementos finitos.

De acordo com SOUZA e RIPPER (1998), o crescimento acelerado da construção civil trouxe consigo a necessidade de inovações e, implicitamente, a aceitação de maiores riscos. Dentro de limites estabelecidos, o conhecimento sobre estruturas e materiais tornou-se crucial por meio de estudos e análises de erros que resultaram em deterioração precoce ou acidentes. Algumas estruturas, quando confrontadas com suas finalidades originais, apresentam desempenho insatisfatório, caracterizando o que chamamos de deterioração estrutural. Durante a etapa de estudo da futura edificação, falhas podem ocorrer devido a um estudo preliminar deficiente ou anteprojetos equivocados. Já as falhas na realização do projeto final frequentemente resultam em problemas patológicos graves, podendo ser causadas por diversos fatores, tais como:

- Projetos inadequados (deficiência no cálculo da estrutura, avaliação da resistência do solo, má definição do modelo analítico, etc.);
- Falta de compatibilidade entre o projeto estrutural e o arquitetônico, bem como os demais projetos civis;
- Especificação inadequada de materiais;
- Detalhamento insuficiente ou errado;
- Detalhes construtivos inexequíveis;
- Falta de padronização das representações (convenções);
- Erros de dimensionamento;
- A sequência lógica do processo de construção civil indica que a etapa de construção deva ser iniciada somente após o término da etapa de concepção, com a conclusão de todos os estudos e projetos que lhe são inerentes;

As principais falhas que podem ocorrer durante a etapa de execução da estrutura são:

- Deficiências de concretagem (transporte, lançamento, juntas de concretagem, adensamento);
- Inadequação de escoramentos e fôrmas;
- Deficiência nas armaduras (estribos, ancoragem, emendas, cobrimento, espaçamento, posicionamento);
- Má utilização ou utilização incorreta dos materiais de construção (fck inferior ao especificado, aço diferente do especificado, solo com características diferentes, utilização inadequada de aditivos, dosagem inadequada do concreto);
- Inexistência de controle de qualidade.

De acordo com Helene (1997), estudos indicam que uma parcela significativa dos problemas patológicos em edificações tem origem nas fases de planejamento e projeto. Essas falhas costumam ser mais graves do que aquelas relacionadas à qualidade dos materiais e aos métodos construtivos. A falta de investimento por parte dos proprietários, sejam eles públicos ou privados, em projetos mais detalhados e elaborados muitas vezes resulta em adaptações durante a execução e, posteriormente, em problemas funcionais e estruturais. Na tabela 4 mostra os percentuais das causas de patologias em edificações.

Tabela 5: Patologias nas etapas de uma construção

Etapa	Percentual
Projeto	40%
Execução	28%
Materiais	18%
Uso	10%
Planejamento	4%

Fonte: HELENE, 1997 – Adaptado pelo autor.

2.4 Elementos Estruturais

De acordo com Bastos (2019), projetos de boa qualidade na construção deve atender à três requisitos: capacidade de resistência, desempenho em serviço e durabilidade, para uma estrutura excelente.

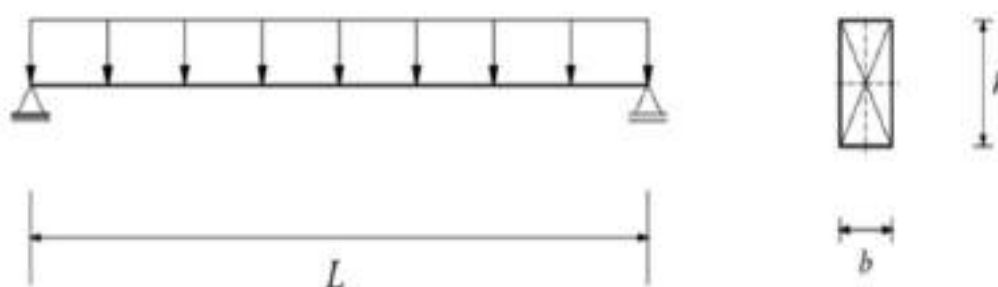
A importância do cálculo estrutural em construções levou a avanços significativos no desenvolvimento de softwares. Antes da era da informática, os cálculos eram demorados e propensos a erros. No entanto, com o advento da informática, esses cálculos foram substituídos. Um projeto estrutural para edificações envolve dimensionamentos de elementos como lajes, vigas, pilares e fundações (KIMURA, 2007).

A laje é um elemento bidimensional e plano que desempenha a função principal de servir como cobertura ou piso nas edificações. Ela recebe ações verticais que atuam em sua estrutura e distribui essas cargas por sua área. Essas ações incluem o peso próprio, contra piso, revestimento, paredes, pilares e cargas acidentais, como moveis e pessoas. Geralmente, essas forças são transmitidas para as vigas, podendo ocasionalmente transmitir diretamente para os pilares (BASTOS, 2019).

De acordo com a NBR 6118:2014 há diversos tipos de lajes, como as maciças, lisas, cogumelo, nervuradas e protendidas pré-moldadas.

Ainda na NBR 6118:2014 falando sobre vigas, define como “ viga aquele elemento linear em que tenha flexão preponderante, possuindo como função vencer vãos e transferir as cargas para os pilares tendo como o comprimento longitudinal três vezes maior que a maior dimensão da sua seção transversal, a figura 5, mostra uma viga bi apoiada e uma seção transversal.

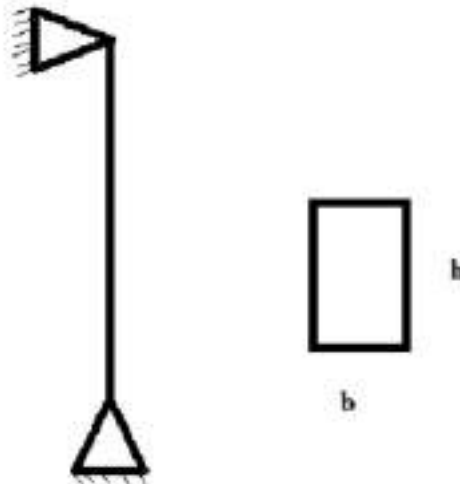
Figura 5: Viga Bi apoiada



Fonte: elaborado pelo autor

A NBR 6118 define pilar como um elemento linear de eixo reto, fixado na vertical, sendo os maiores esforços normais de compressão. Possui como função suportar as ações variantes dos variados níveis e transferir essas ações para as fundações, na figura 6 representa um pilar e sua seção transversal.

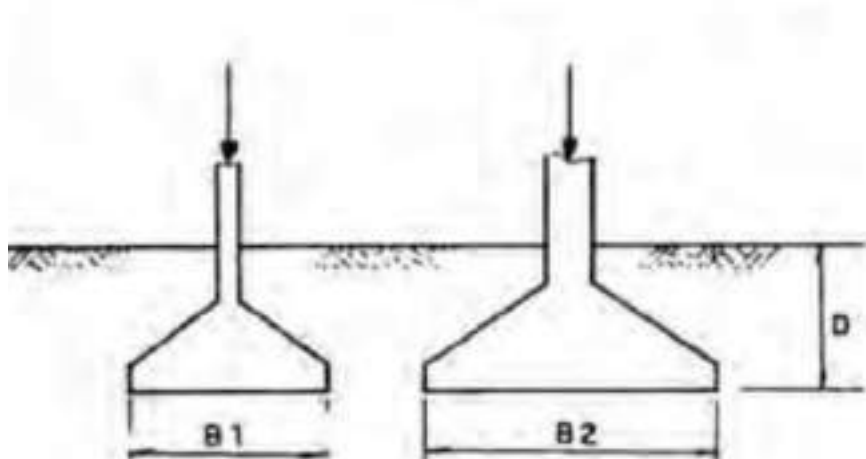
Figura 6: Pilar e seção transversal



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Bloco pela NBR 6118:2014 é um elemento estrutural utilizado para transmitir a carga dos pilares para a fundação. Ele é apoiado sobre estacas e tem a função de distribuir a carga para o solo de maneira eficiente e segura.

Figura: 7 Fundação

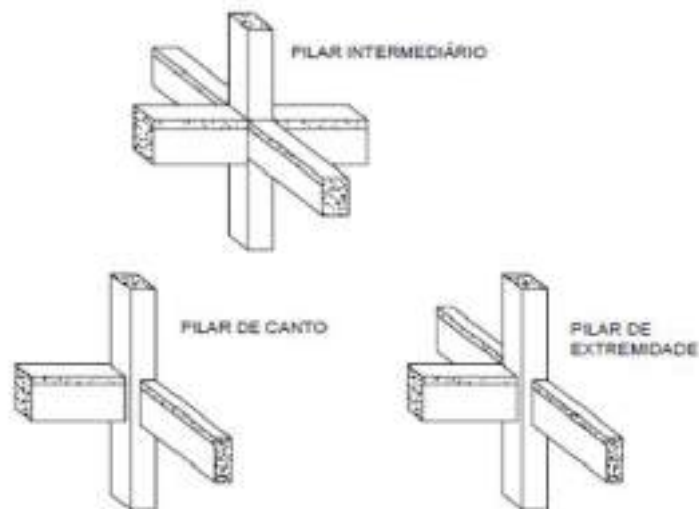


Fonte: FALCONE, *et al.*, 1998

2.4.1 Tipos de pilares

Pilares são classificados de acordo com a sua posição em uma estrutura, eles podem ter três tipos de nomes de acordo com sua posição, o primeiro é o intermediário, segundo pilar de extremidade e terceiro pilar de extremidade, onde pilares intermediários estão sujeitos de forma predominante às forças axiais de compressão, pois ele sofre menos momentos fletores ou de baixa intensidade, pilares de extremidade são submetidos a forças de compressão normais e a ação de momentos causados pelas vigas que tem a sua extremidade apoiada no pilar causando esse momento e o pilar de canto além da força normal de compressão também os momentos causados pelas vigas que se apoiam nele, na figura 8 mostra-se os pilares em suas posições (FUSCO, 1981).

Figura 8: Pilares em suas posições



Fonte: FUSCO, 1981.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi dimensionado pilares intermediários para análise de eficiência na alteração do FCK do concreto e na diminuição da armadura, pilares com a seção mínima prevista pela NBR 6118:2014 e utilizado para o dimensionamento os cálculos baseados no método Araujo (2010).

Foi dimensionado pilares intermediários com a seção de 20x40cm com 3,3m (metros) de altura, com diferentes FCK e carga de 1000kN (quilo Newtons), como mostra a tabela 6.

Tabela 6: Cálculos realizados para a seção 20x40cm.

Dimensionamentos	FCK
Cálculo 1	25
Cálculo 2	30
Cálculo 3	40
Cálculo 4	50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para modelagem, e diferencias os resultados obtidos será dimensionado a partir de cálculos manuais método ARAUJO (2010), adotando classe de agressividade II com os cobrimentos de acordo com a NBR 6118:2014.

Para valores de aço e concreto, foi feito uma pesquisa em diferentes revendedores, na região de Sinop-MT e o valor que será utilizado é uma média entre os estabelecimentos onde foram cotados os valores, na tabela 7 e 8 respectivamente do concreto e do aço CA-50, mostram os valores utilizados.

Tabela 7: Preço médio do concreto, por m³

FCK	Preço Médio (R\$)
25	R\$ 668,00
30	R\$ 683,00
40	R\$ 764,00
50	R\$ 858,00

Fonte: Autor.

Tabela 8: Preço médio do aço, por barra 12m.

Diâmetros (mm)	Massa (KG)	Preço Médio (R\$)
6,30	2,940	20,53
8,00	4,740	33,09
10,00	7,404	49,33
12,50	11,556	73,34
16,00	18,936	120,17
20,00	29,592	187,78

Fonte: Autor.

3.1 Cálculos Método Araújo

Para o dimensionamento de pilares intermediários é necessário considerar algumas excentricidades afim de garantir a segurança da estrutura, de acordo com a NBR 6118:2014 a excentricidade acidental e excentricidade devido há algumas imperfeições geométricas que seria uma excentricidade de primeira ordem mínima, que são respectivamente as equações (1) e (2).

(1)

$$Ea = \frac{Le}{400}$$

Onde Le é o comprimento de flambagem do pilar

Ea sendo excentricidade acidental

(2)

$$E1, \min = 1,5 + 0,03 \cdot h, \text{ cm}$$

Onde h é a altura da seção transversal do pilar na direção considerada, em cm.

Pilares intermediários devem ser dimensionados nas suas duas direções principais sendo elas X e Y , onde o maior valor entre as direções deve se adotar há outra, para que não tenha sobre posição das armaduras, na figura 9, mostra na direção “ X ” como ficaria as equações.

A excentricidade total para se considerar no cálculo E_x é dada por (3):

(3)

$$E_x = E1 + E2 + E_c$$

Onde:

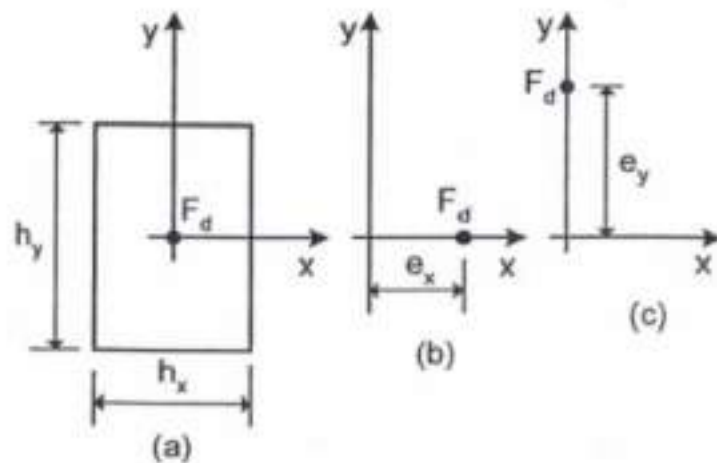
$E1$ = Excentricidade de primeira ordem.

$E2$ = Excentricidade de segunda ordem

E_c = Excentricidade de fluência

Isso de acordo com a direção que está sendo calculada.

Figura 9: Situações do pilar na direção “ X ” para cálculos de dimensionamento.



Fonte: ARAUJO, 2010.

A excentricidade de segunda ordem é dada pela equação (4):

(4)

$$e_x = \frac{L e_x^2 \cdot 0,005}{10 \cdot (V_o + 0,5) \cdot h_x}$$

O parâmetro V_0 é dado por:

$$V_0 = \frac{Fd}{Ac \cdot Fcd}$$

Também $Ac = h_x \cdot h_y$ é a área da seção transversal e Fcd é a resistência à compressão de cálculo de concreto.

A excentricidade de fluência E_c , é dada pela equação (7):

(7)

$$ecx = eax \cdot \left[e^{\frac{\varphi_{\infty} \cdot Fk}{Pex - Fk}} - 1 \right]$$

Onde Pex é a carga de Euler na direção “X” da seção transversal, mas deve-se ser calculada na direção “Y” também.

$$Pex = \frac{\pi^2 \cdot Ecs \cdot Icx}{Lex^2}$$

Nessa equação não há necessidade de respeitar a excentricidade mínima pois $ecx = cIx$, utilizar o esforço normal de cálculo $Nd = Fd$ e com o momento fletor de cálculo $Md = FdEx$, onde é dimensionada a seção de flexo-compressão normal na direção “X”.

Em ambas as direções caso o índice de esbeltez dê menor que 50, pode-se desconsiderar a excentricidade de fluência.

3.1.1 Considerações da Fluência do Concreto

A fluência tem uma importância significativa na resistência de pilares de concreto, devido a fluência, os deslocamentos transversais crescem com o passar do tempo, aumentando os momentos do pilar.

Na fórmula do Pe o Ecs é o módulo de deformação longitudinal secante do concreto e o Ic é o momento de inércia das seções do pilar.

Onde Ecs é dada pela equação:

$$Ecs = 0,85 \cdot 21500 \left(\frac{fck+8}{10} \right)^{1/3}$$

E o momento de inércia é dada pela equação:

$$Ic = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Para de determinar o coeficiente de fluência é dada pela fórmula do ω_{∞} dada pela equação:

$$\omega_{\infty} = 8,2 \frac{\omega RH}{\sqrt{fck + 8}}$$

Onde ωRH :

$$\omega RH = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,46(ho/100)^{1/3}}$$

Onde $H0$:

$$h0 = \frac{2Ac}{u}$$

Ac = Área de concreto

U = Perímetro em contato com a atmosfera

3.2 Cálculos de Dimensionamento

3.2.1 Cálculo 1

Para a seção 20x40cm cálculo 1 (P1).

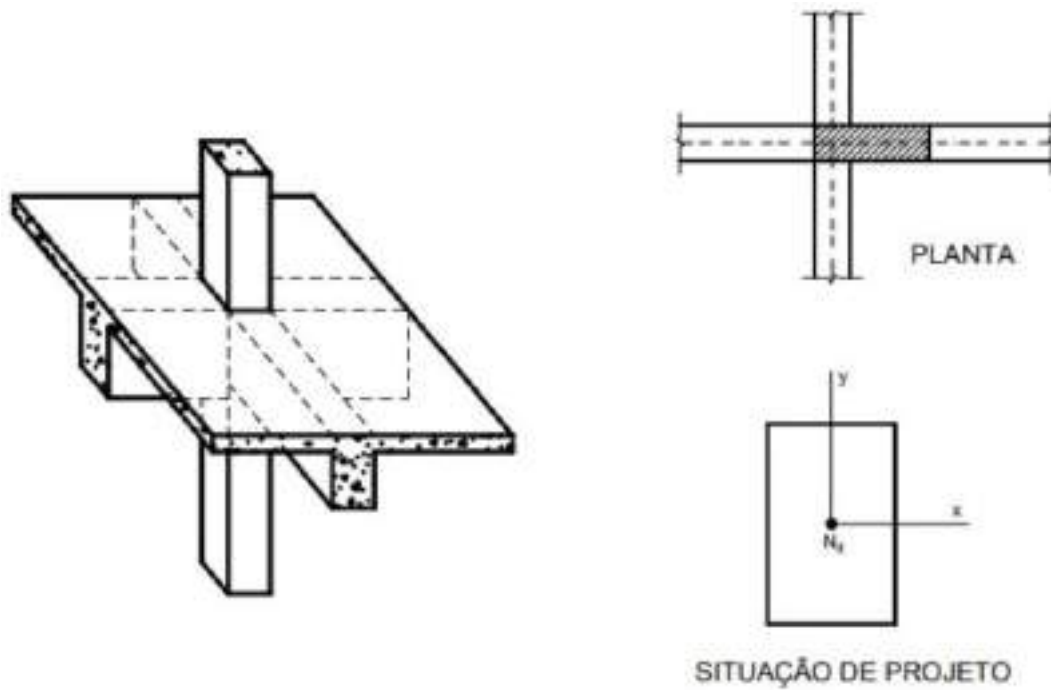
Tabela 9: valores P1

B	40cm
H	20cm
FCK	25 Mpa
Aço (FYK)	CA-50
Carga (FK)	1000Kn
Le	330cm
Cobrimento (d')	4cm

Fonte: Autor

A figura 10 mostra uma representação do Pilar intermediário para fins de conhecimento.

Figura 10: Pilar intermediário P1 primeira seção.



Fonte: BASTOS, 2017.

Resultados

$$H_0 = 133,33\text{mm}$$

$$\omega_{RH} = 2,58$$

$$\omega_{\infty} = 3,68$$

$$\beta = \frac{Le}{h}$$

Sendo h para as duas direções.

$$\beta_x = 16,50$$

$$\beta_y = 8,25$$

Lâmbida para as duas direções.

$$\lambda = \beta \cdot \sqrt{12}$$

$$\lambda_x = 57,16 \text{ – Possui fluência}$$

$$\lambda_y = 28,58 \text{ – Não possui fluência pois é menor que } 50$$

Minoração das resistências para fator de segurança.

$$Fcd = \frac{Fck}{1,4}$$

$$Fcd = 1,79 \text{ Kn/cm}^2$$

$$fyd = \frac{Fyk}{1,15}$$

$$fyd = 43,48 \text{ Kn/cm}^2$$

$$Ecs = 0,85 \cdot 21500 \left(\frac{fck+8}{10} \right)^{1/3}$$

$$Ecs = 2720,79 \text{ Kn/cm}^2$$

$$eax = 0,825 \text{ cm}$$

Dimensionamento na direção "X":

$$Vo = \frac{Fd}{Ac \cdot Fcd}$$

$$Vo = 0,98$$

$$e2x = \frac{Lex^2 \cdot 0,005}{10 \cdot (Vo + 0,5) \cdot hx}$$

$$e2x = 1,84 \text{ cm}$$

$$Icx = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$Icx = 26666,67 \text{ cm}^4$$

$$Pex = \frac{\pi^2 \cdot Ecs \cdot Icx}{Lex^2}$$

$$Pex = 6575,61 \text{ Kn}$$

$$ecx = eax \cdot \left[e^{\frac{\varphi \cdot Fk}{Pex - Fk}} - 1 \right]$$

$$ecx = 0,77 \text{ cm}$$

e1x é o maior valor entre:

$$eax = \frac{Le}{400}$$

$$e1x, \text{ min} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ax} = 0,825$$

$$e_{1x, \min} = 2,1$$

Logo a excentricidade total é:

$$E_x = 4,71 \text{ cm}$$

Cálculo do momento:

$$M_d = F_d \cdot e_x$$

$$M_d = 6596,24 \text{ Kn.cm}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd}$$

$$\sigma_{cd} = 1,52 \text{ Kn/cm}^2$$

$$v = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}$$

$$v = 1,15$$

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{cd}}$$

$$\mu = 0,27$$

$$\delta = \frac{d'}{h}$$

$$\delta = 0,2$$

Com essas informações, deve-se utilizar a tabela do Araujo (2010) para descobrir os valores de “W” para o cálculo de dimensionamento da armadura, como δ deu 0,2 utiliza-se esse valor como base para achar o valor de “W” na tabela, na tabela 10 abaixo mostra os valores de W para o cálculo.

Tabela 10: Valores de W para o dimensionamento.

$\delta=0,20$									
Valores de ω									
$\mu \downarrow$									
$v \downarrow$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0	0	0,27	0,6	0,94	1,27	1,61	1,95	2,28	2,62
0,1	0	0,17	0,5	0,84	1,18	1,52	1,85	2,19	2,53
0,2	0	0,07	0,41	0,75	1,09	1,43	1,76	2,1	2,44
0,3	0	0	0,33	0,67	1,01	1,35	1,68	2,02	2,35
0,4	0	0	0,28	0,62	0,97	1,31	1,66	2	2,35
0,5	0	0	0,3	0,66	1,01	1,36	1,71	2,05	2,4
0,6	0	0	0,35	0,72	1,08	1,42	1,77	2,11	2,45
0,7	0	0	0,4	0,79	1,15	1,5	1,85	2,19	2,53
0,8	0	0,07	0,47	0,86	1,23	1,58	1,93	2,27	2,61
0,9	0	0,17	0,55	0,94	1,31	1,66	2,01	2,36	2,7
1	0	0,27	0,63	1,01	1,39	1,75	2,1	2,44	2,79
1,1	0,11	0,37	0,72	1,1	1,47	1,83	2,18	2,53	2,88
1,2	0,22	0,47	0,81	1,18	1,55	1,92	2,27	2,62	2,97
1,3	0,33	0,58	0,91	1,27	1,64	2	2,36	2,71	3,06
1,4	0,43	0,69	1	1,36	1,73	2,09	2,45	2,8	3,15
1,5	0,54	0,79	1,1	1,45	1,82	2,18	2,53	2,89	3,24
1,6	0,65	0,9	1,2	1,55	1,91	2,27	2,62	2,98	3,33
1,7	0,76	1,01	1,3	1,64	2	2,36	2,72	3,07	3,42
1,8	0,87	1,12	1,4	1,74	2,09	2,45	2,81	3,16	3,51
1,9	0,98	1,22	1,51	1,84	2,19	2,54	2,9	3,25	3,6
2	1,09	1,33	1,61	1,93	2,28	2,64	2,99	3,34	3,69

Fonte: ARAÚJO, 2010 – adaptado pelo autor.

Fazendo a interpolação para obter o valor de W temos o seguinte resultado, de acordo com a tabela 11 a seguir:

Tabela 11: Interpolação de v e μ na direção X.

interpolação 1		μ_1	μ	μ_2
tabela	0,2	0,2	0,27	0,3
V1	1,1	0,72	0,99	1,1
V	1,15		1,03	
V2	1,2	0,81	1,07	1,18

Fonte: Autor.

Temos que $W=1,03$.

$$A_{sx} = \frac{w \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}{F_{yd}}$$

$$A_{sx} = 28,77 \text{ cm}^2$$

Área de aço na direção X

Dimensionamento na direção “Y”

e_{1y} é o maior valor entre:

$$e_{ay} = \frac{Le}{400} \quad e_{1y, \min} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ay} = 0,825$$

$$e_{1x, \min} = 2,7$$

$$V_o = \frac{Fd}{Ac \cdot Fcd}$$

$$V_o = 0,98$$

$$e_{2y} = \frac{Le y^2 \cdot 0,005}{10 \cdot (V_o + 0,5) \cdot h y}$$

$$e_{2y} = 0,92$$

$$I_{cy} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{cy} = 106666,67 \text{ cm}^4$$

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot Ecs \cdot I_{cx}}{Lex^2}$$

$$P_{ey} = 26302,42 \text{ Kn}$$

$$e_{cy} = e_{ay} \cdot \left[e^{\frac{\varphi \infty \cdot Fk}{P_{ex} - Fk}} - 1 \right]$$

$$e_{cy} = 0,13 \text{ cm}$$

e_{1y} é o maior valor entre:

$$e_{ax} = \frac{Le}{400} \quad e_{1x, \min} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ax} = 0,1$$

$$e_{1x, \min} = 2,7$$

Logo a excentricidade total é sem somar a excentricidade de fluência já que o lãmbida deu menor que 50.

$$Ex = 3,62 \text{ cm}$$

Cálculo do momento

$$Md = Fd \cdot ex$$

$$Md = 5067,67 \text{ Kn.cm}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd}$$

$$\sigma_{cd} = 1,52 \text{ Kn/cm}^2$$

$$v = \frac{Nd}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}$$

$$v = 1,15$$

$$\mu = \frac{Md}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{cd}}$$

$$\mu = 0,10$$

$$\delta = \frac{d'}{h}$$

$$\delta = 0,1$$

Com essas informações, deve-se utilizar a tabela do Araujo (2010) para descobrir os valores de “W” para o cálculo de dimensionamento da armadura, como δ deu 0,1 utiliza-se esse valor como base para achar o valor de “W” na tabela, na tabela 12 abaixo mostra os valores de W para o cálculo.

Tabela 12: Valores de W para o dimensionamento na direção Y.

$\delta=0,10$									
Valores de ω									
μ									
$v \parallel$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0	0	0,24	0,49	0,74	0,99	1,24	1,49	1,74	1,99
0,1	0	0,14	0,39	0,64	0,9	1,15	1,4	1,65	1,9
0,2	0	0,05	0,3	0,55	0,8	1,05	1,3	1,55	1,8
0,3	0	0	0,24	0,49	0,74	0,99	1,24	1,49	1,74
0,4	0	0	0,2	0,45	0,7	0,95	1,2	1,45	1,7
0,5	0	0	0,21	0,47	0,73	0,98	1,23	1,49	1,74
0,6	0	0	0,25	0,53	0,79	1,05	1,31	1,56	1,82
0,7	0	0	0,3	0,59	0,86	1,13	1,39	1,65	1,9
0,8	0	0,06	0,37	0,66	0,94	1,2	1,47	1,73	1,99
0,9	0	0,15	0,44	0,73	1,01	1,28	1,55	1,81	2,07
1	0	0,24	0,52	0,81	1,09	1,36	1,63	1,9	2,16
1,1	0,11	0,34	0,61	0,89	1,17	1,45	1,72	1,98	2,24
1,2	0,22	0,44	0,7	0,98	1,26	1,53	1,8	2,07	2,33
1,3	0,33	0,54	0,79	1,07	1,35	1,62	1,89	2,16	2,42
1,4	0,43	0,64	0,89	1,16	1,43	1,71	1,98	2,24	2,51
1,5	0,54	0,75	0,99	1,25	1,53	1,8	2,07	2,33	2,6
1,6	0,65	0,85	1,09	1,35	1,62	1,89	2,16	2,42	2,69
1,7	0,76	0,95	1,19	1,44	1,71	1,98	2,25	2,51	2,78
1,8	0,87	1,05	1,29	1,54	1,8	2,07	2,34	2,61	2,87
1,9	0,98	1,15	1,39	1,64	1,9	2,17	2,43	2,7	2,96
2	1,09	1,25	1,49	1,74	2	2,26	2,53	2,79	3,06

Fonte: ARAUJO, 2010 – elaborado pelo autor.

Fazendo a interpolação para obter o valor de W temos o seguinte resultado, de acordo com a tabela 13 abaixo.

Tabela 13: Interpolação de v e μ na direção Y.

interpolação 1		μ
tabela	0,10	0,1
V1	1,1	0,34
V	1,15	0,39
V2	1,2	0,44

Fonte: Autor.

Temos que $W=0,39$.

$$A_{sy} = \frac{w \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}{F_{yd}}$$

$$A_{sx} = 10,89 \text{ cm}^2$$

Área de aço na direção Y.

Logo adotamos o maior valor da área de aço entre as direções.

$$A_s = 28,77 \text{ cm}^2$$

3.2.2 Cálculo 2

Para a seção 20x40cm cálculo 2 (P2).

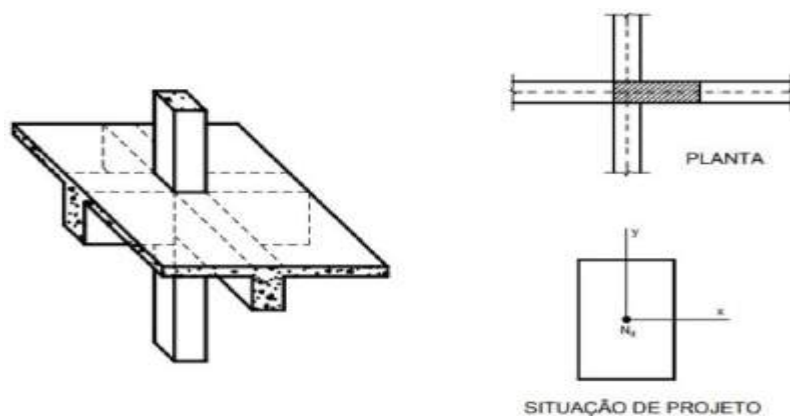
Tabela 14: valores P2

B	40cm
H	20cm
FCK	30 Mpa
Aço (FYK)	CA-50
Carga (FK)	1000Kn
Le	330cm
Cobrimento (d')	4cm

Fonte: Autor

Na figura 11 mostra uma representação do Pilar intermediário para fins de conhecimento.

Figura 11: Pilar intermediário P2 primeira seção.



Fonte: BASTOS, 2017

Resultados:

$$H_0 = 133,33 \text{ mm}$$

$$\omega_{RH} = 2,58$$

$$\omega_{\infty} = 3,43$$

$$\beta = \frac{Le}{h}$$

Sendo h para as duas direções.

$$\beta_x = 16,50$$

$$\beta_y = 8,25$$

Lâmbida para as duas direções.

$$\lambda = \beta \cdot \sqrt{12}$$

$$\lambda_x = 57,16 - \text{Possui fluência}$$

$$\lambda_y = 28,58 - \text{Não possui fluência pois é menor que } 50$$

Minoração das resistências para fator de segurança.

$$F_{cd} = \frac{F_{ck}}{1,4}$$

$$F_{cd} = 2,14 \text{ Kn/cm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{F_{yk}}{1,15}$$

$$f_{yd} = 43,48 \text{ Kn/cm}^2$$

$$E_{cs} = 0,85 \cdot 21500 \left(\frac{f_{ck} + 8}{10} \right)^{1/3}$$

$$E_{cs} = 2851,80 \text{ Kn/cm}^2$$

$$e_{ax} = 0,825 \text{ cm}$$

Dimensionamento na direção "X"

$$V_o = \frac{F_d}{A_c \cdot F_{cd}}$$

$$V_0 = 0,82$$

$$e_{2x} = \frac{Lex^2 \cdot 0,005}{10 \cdot (V_0 + 0,5) \cdot hx}$$

$$e_{2x} = 2,07 \text{ cm}$$

$$I_{cx} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{cx} = 26666,67 \text{ cm}^4$$

$$P_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot Ecs \cdot I_{cx}}{Lex^2}$$

$$P_{ex} = 6892,22 \text{ Kn}$$

$$e_{cx} = e_{ax} \cdot \left[e^{\frac{\varphi \infty \cdot Fk}{P_{ex} - Fk}} - 1 \right]$$

$$e_{cx} = 0,65 \text{ cm}$$

e_{1x} é o maior valor entre:

$$e_{ax} = \frac{Le}{400} \qquad e_{1x, \text{ min}} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ax} = 0,825$$

$$e_{1x, \text{ min}} = 2,1$$

Logo a excentricidade total é

$$E_x = 4,82 \text{ cm}$$

Cálculo do momento

$$M_d = F_d \cdot e_x$$

$$M_d = 6747,81 \text{ Kn.cm}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$\sigma_{cd} = 1,82 \text{ Kn/cm}^2$$

$$v = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}$$

$$v = 0,96$$

$$\mu = \frac{Md}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{cd}}$$

$$\mu = 0,23$$

$$\delta = \frac{d'}{h}$$

$$\delta = 0,2$$

Com essas informações, deve-se utilizar a tabela do Araujo (2010) para descobrir os valores de “W” para o cálculo de dimensionamento da armadura, como δ deu 0,2 utiliza-se esse valor como base para achar o valor de “W” na tabela, na tabela 15 abaixo mostra os valores de W para o cálculo.

Tabela 15: Valores de W para o dimensionamento.

$\delta=0,20$									
Valores de ω									
$\mu \downarrow$									
$\nu \downarrow$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0	0	0,27	0,6	0,94	1,27	1,61	1,95	2,28	2,62
0,1	0	0,17	0,5	0,84	1,18	1,52	1,85	2,19	2,53
0,2	0	0,07	0,41	0,75	1,09	1,43	1,76	2,1	2,44
0,3	0	0	0,33	0,67	1,01	1,35	1,68	2,02	2,35
0,4	0	0	0,28	0,62	0,97	1,31	1,66	2	2,35
0,5	0	0	0,3	0,66	1,01	1,36	1,71	2,05	2,4
0,6	0	0	0,35	0,72	1,08	1,42	1,77	2,11	2,45
0,7	0	0	0,4	0,79	1,15	1,5	1,85	2,19	2,53
0,8	0	0,07	0,47	0,86	1,23	1,58	1,93	2,27	2,61
0,9	0	0,17	0,55	0,94	1,31	1,66	2,01	2,36	2,7
1	0	0,27	0,63	1,01	1,39	1,75	2,1	2,44	2,79
1,1	0,11	0,37	0,72	1,1	1,47	1,83	2,18	2,53	2,88
1,2	0,22	0,47	0,81	1,18	1,55	1,92	2,27	2,62	2,97
1,3	0,33	0,58	0,91	1,27	1,64	2	2,36	2,71	3,06
1,4	0,43	0,69	1	1,36	1,73	2,09	2,45	2,8	3,15
1,5	0,54	0,79	1,1	1,45	1,82	2,18	2,53	2,89	3,24
1,6	0,65	0,9	1,2	1,55	1,91	2,27	2,62	2,98	3,33
1,7	0,76	1,01	1,3	1,64	2	2,36	2,72	3,07	3,42
1,8	0,87	1,12	1,4	1,74	2,09	2,45	2,81	3,16	3,51
1,9	0,98	1,22	1,51	1,84	2,19	2,54	2,9	3,25	3,6
2	1,09	1,33	1,61	1,93	2,28	2,64	2,99	3,34	3,69

Fonte: ARAÚJO, 2010 – adaptado pelo autor.

Fazendo a interpolação para obter o valor de W temos o seguinte resultado, de acordo com a tabela 16 abaixo.

Tabela 16: Interpolação de v e μ na direção X.

interpolação 1		μ_1	μ	μ_2
tabela	0,2	0,2	0,23	0,3
V1	0,9	0,55	0,67	0,94
V	0,96		0,71	
V2	1	0,63	0,74	1,01

Fonte: Autor.

Temos que $W=0,71$.

$$Asx = \frac{w \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}{F_{yd}}$$

$$Asx = 23,80 \text{ cm}^2$$

Área de aço na direção X

Dimensionamento na direção “Y”

e_{1y} é o maior valor entre:

$$e_{ay} = \frac{Le}{400} \qquad e_{1y, \min} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ay} = 0,825$$

$$e_{1x, \min} = 2,7$$

$$V_o = \frac{F_d}{A_c \cdot F_{cd}}$$

$$V_o = 0,82$$

$$e_{2y} = \frac{Le^2 \cdot 0,005}{10 \cdot (V_o + 0,5) \cdot h_y}$$

$$e_{2y} = 1,03$$

$$I_{cy} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{cy} = 106666,67 \text{ cm}^4$$

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot Ecs \cdot I_{cx}}{L_{ex}^2}$$

$$P_{ey} = 27568,87 \text{ Kn}$$

$$e_{cy} = e_{ay} \cdot \left[e^{\frac{\varphi \infty \cdot Fk}{P_{ex} - Fk}} - 1 \right]$$

$$e_{cy} = 0,11 \text{ cm}$$

e_{1y} é o maior valor entre:

$$e_{ax} = \frac{Le}{400} \quad e_{1x, \text{ min}} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ax} = 0,1$$

$$e_{1x, \text{ min}} = 2,7$$

Logo a excentricidade total é sem somar a excentricidade de fluência já que o lãmbida deu menor que 50.

$$E_x = 3,73 \text{ cm}$$

Cálculo do momento

$$Md = Fd \cdot e_x$$

$$Md = 5227,41 \text{ Kn.cm}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd}$$

$$\sigma_{cd} = 1,82 \text{ Kn/cm}^2$$

$$v = \frac{Nd}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}$$

$$v = 0,96$$

$$\mu = \frac{Md}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{cd}}$$

$$\mu = 0,09$$

$$\delta = \frac{d'}{h}$$

$$\delta = 0,1$$

Com essas informações, deve-se utilizar a tabela do Araujo (2010) para descobrir os valores de “W” para o cálculo de dimensionamento da armadura, como δ deu 0,1 utiliza-se esse valor como base para achar o valor de “W” na tabela, na tabela 17 abaixo mostra os valores de W para o cálculo.

Tabela 17: Valores de W para o dimensionamento na direção Y.

$\delta=0,10$									
Valores de ω									
$\mu\downarrow$									
$\nu\downarrow$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0	0	0,24	0,49	0,74	0,99	1,24	1,49	1,74	1,99
0,1	0	0,14	0,39	0,64	0,9	1,15	1,4	1,65	1,9
0,2	0	0,05	0,3	0,55	0,8	1,05	1,3	1,55	1,8
0,3	0	0	0,24	0,49	0,74	0,99	1,24	1,49	1,74
0,4	0	0	0,2	0,45	0,7	0,95	1,2	1,45	1,7
0,5	0	0	0,21	0,47	0,73	0,98	1,23	1,49	1,74
0,6	0	0	0,25	0,53	0,79	1,05	1,31	1,56	1,82
0,7	0	0	0,3	0,59	0,86	1,13	1,39	1,65	1,9
0,8	0	0,06	0,37	0,66	0,94	1,2	1,47	1,73	1,99
0,9	0	0,15	0,44	0,73	1,01	1,28	1,55	1,81	2,07
1	0	0,24	0,52	0,81	1,09	1,36	1,63	1,9	2,16
1,1	0,11	0,34	0,61	0,89	1,17	1,45	1,72	1,98	2,24
1,2	0,22	0,44	0,7	0,98	1,26	1,53	1,8	2,07	2,33
1,3	0,33	0,54	0,79	1,07	1,35	1,62	1,89	2,16	2,42
1,4	0,43	0,64	0,89	1,16	1,43	1,71	1,98	2,24	2,51
1,5	0,54	0,75	0,99	1,25	1,53	1,8	2,07	2,33	2,6
1,6	0,65	0,85	1,09	1,35	1,62	1,89	2,16	2,42	2,69
1,7	0,76	0,95	1,19	1,44	1,71	1,98	2,25	2,51	2,78
1,8	0,87	1,05	1,29	1,54	1,8	2,07	2,34	2,61	2,87
1,9	0,98	1,15	1,39	1,64	1,9	2,17	2,43	2,7	2,96
2	1,09	1,25	1,49	1,74	2	2,26	2,53	2,79	3,06

Fonte: ARAUJO, 2010 – elaborado pelo autor.

Fazendo a interpolação para obter o valor de W temos o seguinte resultado, de acordo com a tabela 18 abaixo.

Tabela 18: Interpolação de ν e μ na direção Y.

interpolação 1		μ_1	μ	μ_2
tabela	$\delta=0,1$	0	0,09	0,1
V1	0,9	0	0,14	0,15
V	0,96		0,18	
V2	1	0	0,22	0,24

Fonte: Autor.

Temos que $W=0,18$.

$$A_{sy} = \frac{w \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}{F_{yd}}$$

$$A_{sx} = 6,03 \text{ cm}^2$$

Área de aço na direção Y.

Logo adotamos o maior valor da área de aço entre as direções.

$$A_s = 23,80 \text{ cm}^2$$

3.2.3 Cálculo 3

Para a seção 20x40cm cálculo 3 (P3).

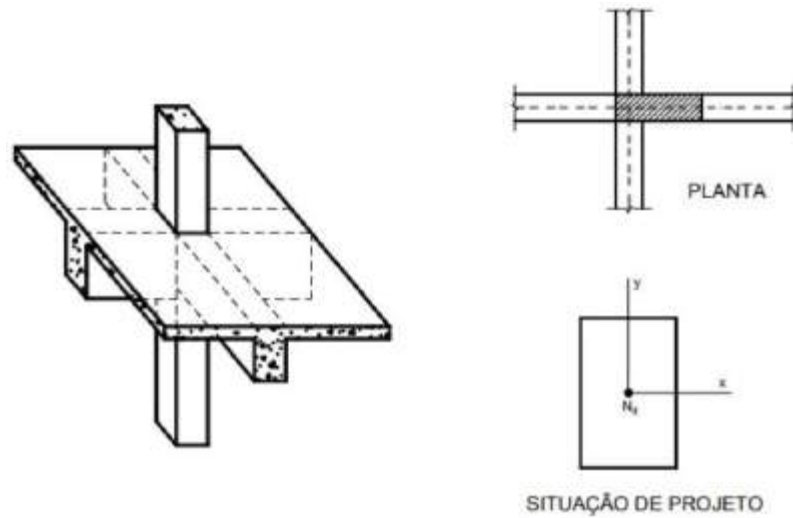
Tabela 19: valores P3

B	40cm
H	20cm
FCK	40 Mpa
Aço (FYK)	CA-50
Carga (FK)	1000Kn
Le	330cm
Cobrimento (d')	4cm

Fonte: Autor

Na figura 12 mostra uma representação do Pilar intermediário para fins de conhecimento.

Figura 12: Pilar intermediário P2 primeira seção.



Fonte: BASTOS, 2017.

Resultados:

$$H_0 = 133,33\text{mm}$$

$$\omega_{RH} = 2,58$$

$$\omega_{\infty} = 3,05$$

$$\beta = \frac{Le}{h}$$

Sendo h para as duas direções.

$$\beta_x = 16,50$$

$$\beta_y = 8,25$$

Lâmbida para as duas direções.

$$\lambda = \beta \cdot \sqrt{12}$$

$$\lambda_x = 57,16 \text{ – Possui fluência}$$

$$\lambda_y = 28,58 \text{ – Não possui fluência pois é menor que 50}$$

Minoração das resistências para fator de segurança.

$$Fcd = \frac{Fck}{1,4}$$

$$Fcd = 2,86 \text{ Kn/cm}^2$$

$$fyd = \frac{Fyk}{1,15}$$

$$fyd = 43,48 \text{ Kn/cm}^2$$

$$Ecs = 0,85 \cdot 21500 \left(\frac{fck+8}{10} \right)^{1/3}$$

$$Ecs = 2851,80 \text{ Kn/cm}^2$$

$$eax = 0,825 \text{ cm}$$

Dimensionamento na direção "X"

$$Vo = \frac{Fd}{Ac \cdot Fcd}$$

$$Vo = 0,61$$

$$e2x = \frac{Lex^2 \cdot 0,005}{10 \cdot (Vo + 0,5) \cdot hx}$$

$$e2x = 2,45 \text{ cm}$$

$$Icx = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$Icx = 26666,67 \text{ cm}^4$$

$$Pex = \frac{\pi^2 \cdot Ecs \cdot Icx}{Lex^2}$$

$$Pex = 7450,38 \text{ Kn}$$

$$ecx = eax \cdot \left[e^{\frac{\varphi \cdot Fk}{Pex - Fk}} - 1 \right]$$

$$ecx = 0,50 \text{ cm}$$

$e1x$ é o maior valor entre:

$$e_{ax} = \frac{Le}{400} \quad e_{1x, \min} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ax} = 0,825$$

$$e_{1x, \min} = 2,1$$

Logo a excentricidade total é

$$E_x = 5,05 \text{ cm}$$

Cálculo do momento

$$M_d = F_d \cdot e_x$$

$$M_d = 7065,39 \text{ Kn.cm}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd}$$

$$\sigma_{cd} = 2,43 \text{ Kn/cm}^2$$

$$v = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}$$

$$v = 0,72$$

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{cd}}$$

$$\mu = 0,18$$

$$\delta = \frac{d'}{h}$$

$$\delta = 0,2$$

Com essas informações, deve-se utilizar a tabela do Araujo (2010) para descobrir os valores de “W” para o cálculo de dimensionamento da armadura, como δ deu 0,2 utiliza-se esse valor como base para achar o valor de “W” na tabela, na tabela 20 abaixo mostra os valores de W para o cálculo.

Tabela 20: Valores de W para o dimensionamento.

$\delta=0,20$									
Valores de ω									
$\mu \downarrow$									
$v \downarrow$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0	0	0,27	0,6	0,94	1,27	1,61	1,95	2,28	2,62
0,1	0	0,17	0,5	0,84	1,18	1,52	1,85	2,19	2,53
0,2	0	0,07	0,41	0,75	1,09	1,43	1,76	2,1	2,44
0,3	0	0	0,33	0,67	1,01	1,35	1,68	2,02	2,35
0,4	0	0	0,28	0,62	0,97	1,31	1,66	2	2,35
0,5	0	0	0,3	0,66	1,01	1,36	1,71	2,05	2,4
0,6	0	0	0,35	0,72	1,08	1,42	1,77	2,11	2,45
0,7	0	0	0,4	0,79	1,15	1,5	1,85	2,19	2,53
0,8	0	0,07	0,47	0,86	1,23	1,58	1,93	2,27	2,61
0,9	0	0,17	0,55	0,94	1,31	1,66	2,01	2,36	2,7
1	0	0,27	0,63	1,01	1,39	1,75	2,1	2,44	2,79
1,1	0,11	0,37	0,72	1,1	1,47	1,83	2,18	2,53	2,88
1,2	0,22	0,47	0,81	1,18	1,55	1,92	2,27	2,62	2,97
1,3	0,33	0,58	0,91	1,27	1,64	2	2,36	2,71	3,06
1,4	0,43	0,69	1	1,36	1,73	2,09	2,45	2,8	3,15
1,5	0,54	0,79	1,1	1,45	1,82	2,18	2,53	2,89	3,24
1,6	0,65	0,9	1,2	1,55	1,91	2,27	2,62	2,98	3,33
1,7	0,76	1,01	1,3	1,64	2	2,36	2,72	3,07	3,42
1,8	0,87	1,12	1,4	1,74	2,09	2,45	2,81	3,16	3,51
1,9	0,98	1,22	1,51	1,84	2,19	2,54	2,9	3,25	3,6
2	1,09	1,33	1,61	1,93	2,28	2,64	2,99	3,34	3,69

Fonte: ARAÚJO, 2010 – adaptado pelo autor.

Fazendo a interpolação para obter o valor de W temos o seguinte resultado, de acordo com a tabela 21 abaixo.

Tabela 21: Interpolação de v e μ na direção X.

interpolação 1		μ_1	μ	μ_2
tabela	0,2	0,1	0,18	0,2
V1	0,7	0	0,32	0,4
V	0,72		0,33	
V2	0,8	0,07	0,39	0,47

Fonte: Autor.

Temos que $W=0,33$.

$$Asx = \frac{w \cdot b \cdot h \cdot \sigma cd}{Fyd}$$

$$Asx = 14,75 \text{ cm}^2$$

Área de aço na direção X

Dimensionamento na direção “Y”

e_{1y} é o maior valor entre:

$$e_{ay} = \frac{Le}{400} \quad e_{1y, \min} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ay} = 0,825$$

$$e_{1x, \min} = 2,7$$

$$V_o = \frac{Fd}{Ac \cdot Fcd}$$

$$V_o = 0,61$$

$$e_{2y} = \frac{Le y^2 \cdot 0,005}{10 \cdot (V_o + 0,5) \cdot h y}$$

$$e_{2y} = 1,22$$

$$I_{cy} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{cy} = 106666,67 \text{ cm}^4$$

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot Ecs \cdot I_{cx}}{Lex^2}$$

$$P_{ey} = 29801,51 \text{ Kn}$$

$$e_{cy} = e_{ay} \cdot \left[e^{\frac{\varphi \infty \cdot Fk}{P_{ex} - Fk}} - 1 \right]$$

$$e_{cy} = 0,09 \text{ cm}$$

e_{1y} é o maior valor entre:

$$e_{ax} = \frac{Le}{400} \quad e_{1x, \min} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ax} = 0,1$$

$$e_{1x, \min} = 2,7$$

Logo a excentricidade total é sem somar a excentricidade de fluência já que o lãmbda deu menor que 50.

$$E_x = 3,92 \text{ cm}$$

Cálculo do momento

$$M_d = F_d \cdot e_x$$

$$M_d = 5493,03 \text{ Kn.cm}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd}$$

$$\sigma_{cd} = 2,43$$

$$v = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}$$

$$v = 0,72$$

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{cd}}$$

$$\mu = 0,07$$

$$\delta = \frac{d'}{h}$$

$$\delta = 0,1$$

Com essas informações, deve-se utilizar a tabela do Araujo (2010) para descobrir os valores de “W” para o cálculo de dimensionamento da armadura, como δ deu 0,1 utiliza-se esse valor como base para achar o valor de “W” na tabela, na tabela 22 abaixo mostra os valores de W para o cálculo.

Tabela 22: Valores de W para o dimensionamento na direção Y.

$\delta=0,10$									
Valores de ω									
μ									
$v \backslash$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0	0	0,24	0,49	0,74	0,99	1,24	1,49	1,74	1,99
0,1	0	0,14	0,39	0,64	0,9	1,15	1,4	1,65	1,9
0,2	0	0,05	0,3	0,55	0,8	1,05	1,3	1,55	1,8
0,3	0	0	0,24	0,49	0,74	0,99	1,24	1,49	1,74
0,4	0	0	0,2	0,45	0,7	0,95	1,2	1,45	1,7
0,5	0	0	0,21	0,47	0,73	0,98	1,23	1,49	1,74
0,6	0	0	0,25	0,53	0,79	1,05	1,31	1,56	1,82
0,7	0	0	0,3	0,59	0,86	1,13	1,39	1,65	1,9
0,8	0	0,06	0,37	0,66	0,94	1,2	1,47	1,73	1,99
0,9	0	0,15	0,44	0,73	1,01	1,28	1,55	1,81	2,07
1	0	0,24	0,52	0,81	1,09	1,36	1,63	1,9	2,16
1,1	0,11	0,34	0,61	0,89	1,17	1,45	1,72	1,98	2,24
1,2	0,22	0,44	0,7	0,98	1,26	1,53	1,8	2,07	2,33
1,3	0,33	0,54	0,79	1,07	1,35	1,62	1,89	2,16	2,42
1,4	0,43	0,64	0,89	1,16	1,43	1,71	1,98	2,24	2,51
1,5	0,54	0,75	0,99	1,25	1,53	1,8	2,07	2,33	2,6
1,6	0,65	0,85	1,09	1,35	1,62	1,89	2,16	2,42	2,69
1,7	0,76	0,95	1,19	1,44	1,71	1,98	2,25	2,51	2,78
1,8	0,87	1,05	1,29	1,54	1,8	2,07	2,34	2,61	2,87
1,9	0,98	1,15	1,39	1,64	1,9	2,17	2,43	2,7	2,96
2	1,09	1,25	1,49	1,74	2	2,26	2,53	2,79	3,06

Fonte: ARAUJO, 2010 – elaborado pelo autor.

Fazendo a interpolação para obter o valor de W temos o seguinte resultado, de acordo com a tabela 13 abaixo.

Tabela 23: Interpolação de v e μ na direção Y.

interpolação 1		μ_1	μ	μ_2
tabela	$\delta=0,1$	0	0,07	0,1
V1	0,7	0	0,00	0
V	0,72		0,01	
V2	0,8	0	0,04	0,06

Fonte: Autor.

Temos que $W=0,01$.

$$A_{sy} = \frac{w \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}{F_{yd}}$$

$$A_{sx} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Área de aço na direção Y.

Logo adotamos o maior valor da área de aço entre as direções.

$$A_s = 14,75 \text{ cm}^2$$

3.2.4 Cálculo 4

Para a seção 20x40cm cálculo 4 (P3).

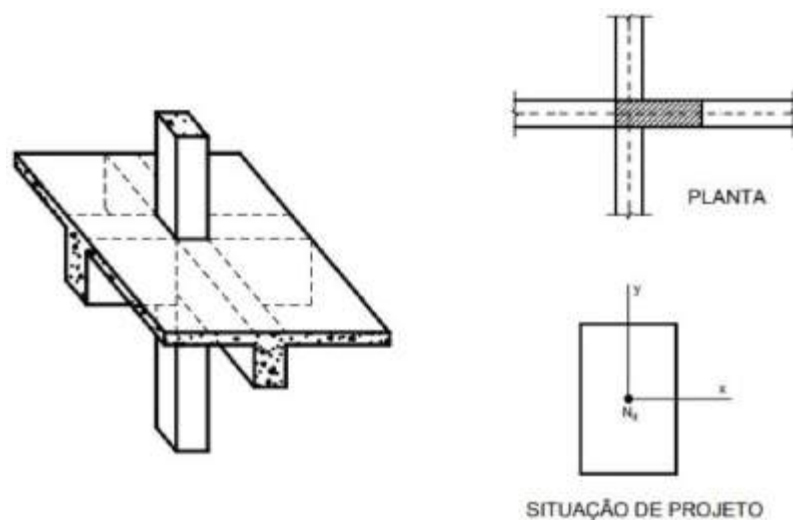
Tabela 24: valores P3

B	40cm
H	20cm
FCK	50 Mpa
Aço (FYK)	CA-50
Carga (FK)	1000Kn
Le	330cm
Cobrimento (d')	4cm

Fonte: Autor

Na figura 13 mostra uma representação do Pilar intermediário para fins de conhecimento.

Figura 13: Pilar intermediário P2 primeira seção.



Fonte: BASTOS, 2017.

Resultados

$$H_0 = 133,33\text{mm}$$

$$\omega_{RH} = 2,58$$

$$\omega_{\infty} = 2,78$$

$$\beta = \frac{Le}{h}$$

Sendo h para as duas direções.

$$\beta_x = 16,50$$

$$\beta_y = 8,25$$

Lâmbida para as duas direções.

$$\lambda = \beta \cdot \sqrt{12}$$

$$\lambda_x = 57,16 \text{ – Possui fluência}$$

$$\lambda_y = 28,58 \text{ – Não possui fluência pois é menor que 50}$$

Minoração das resistências para fator de segurança.

$$F_{cd} = \frac{F_{ck}}{1,4}$$

$$F_{cd} = 3,57/\text{cm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{F_{yk}}{1,15}$$

$$f_{yd} = 43,48 \text{ Kn/cm}^2$$

$$E_{cs} = 0,85 \cdot 21500 \left(\frac{f_{ck}+8}{10} \right)^{1/3}$$

$$E_{cs} = 3283,47 \text{ Kn/cm}^2$$

$$e_{ax} = 0,825 \text{ cm}$$

Dimensionamento na direção “X”

$$V_o = \frac{F_d}{A_c \cdot F_{cd}}$$

$$V_o = 0,50$$

$$e_{2x} = \frac{Lex^2 \cdot 0,005}{10 \cdot (V_0 + 0,5) \cdot hx}$$

$$e_{2x} = 2,72 \text{ cm}$$

$$I_{cx} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{cx} = 26666,67 \text{ cm}^4$$

$$P_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot Ecs \cdot I_{cx}}{Lex^2}$$

$$P_{ex} = 7935,49 \text{ Kn}$$

$$e_{cx} = e_{ax} \cdot \left[e^{\frac{\varphi \infty \cdot Fk}{P_{ex} - Fk}} - 1 \right]$$

$$e_{cx} = 0,41 \text{ cm}$$

e_{1x} é o maior valor entre:

$$e_{ax} = \frac{Le}{400} \qquad e_{1x, \text{ min}} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ax} = 0,825$$

$$e_{1x, \text{ min}} = 2,1$$

Logo a excentricidade total é

$$E_x = 5,23 \text{ cm}$$

Cálculo do momento

$$Md = Fd \cdot ex$$

$$Md = 7320,51 \text{ Kn.cm}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$\sigma_{cd} = 3,04 \text{ Kn/cm}^2$$

$$v = \frac{Nd}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}$$

$$v = 0,58$$

$$\mu = \frac{Md}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{cd}}$$

$$\mu = 0,15$$

$$\delta = \frac{d'}{h}$$

$$\delta = 0,2$$

Com essas informações, deve-se utilizar a tabela do Araujo (2010) para descobrir os valores de “W” para o cálculo de dimensionamento da armadura, como δ deu 0,2 utiliza-se esse valor como base para achar o valor de “W” na tabela, na tabela 25 abaixo mostra os valores de W para o cálculo.

Tabela 25: Valores de W para o dimensionamento.

$\delta=0,20$									
Valores de ω									
$\mu \downarrow$									
$\nu \downarrow$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0	0	0,27	0,6	0,94	1,27	1,61	1,95	2,28	2,62
0,1	0	0,17	0,5	0,84	1,18	1,52	1,85	2,19	2,53
0,2	0	0,07	0,41	0,75	1,09	1,43	1,76	2,1	2,44
0,3	0	0	0,33	0,67	1,01	1,35	1,68	2,02	2,35
0,4	0	0	0,28	0,62	0,97	1,31	1,66	2	2,35
0,5	0	0	0,3	0,66	1,01	1,36	1,71	2,05	2,4
0,6	0	0	0,35	0,72	1,08	1,42	1,77	2,11	2,45
0,7	0	0	0,4	0,79	1,15	1,5	1,85	2,19	2,53
0,8	0	0,07	0,47	0,86	1,23	1,58	1,93	2,27	2,61
0,9	0	0,17	0,55	0,94	1,31	1,66	2,01	2,36	2,7
1	0	0,27	0,63	1,01	1,39	1,75	2,1	2,44	2,79
1,1	0,11	0,37	0,72	1,1	1,47	1,83	2,18	2,53	2,88
1,2	0,22	0,47	0,81	1,18	1,55	1,92	2,27	2,62	2,97
1,3	0,33	0,58	0,91	1,27	1,64	2	2,36	2,71	3,06
1,4	0,43	0,69	1	1,36	1,73	2,09	2,45	2,8	3,15
1,5	0,54	0,79	1,1	1,45	1,82	2,18	2,53	2,89	3,24
1,6	0,65	0,9	1,2	1,55	1,91	2,27	2,62	2,98	3,33
1,7	0,76	1,01	1,3	1,64	2	2,36	2,72	3,07	3,42
1,8	0,87	1,12	1,4	1,74	2,09	2,45	2,81	3,16	3,51
1,9	0,98	1,22	1,51	1,84	2,19	2,54	2,9	3,25	3,6
2	1,09	1,33	1,61	1,93	2,28	2,64	2,99	3,34	3,69

Fonte: ARAÚJO, 2010 – adaptado pelo autor.

Fazendo a interpolação para obter o valor de W temos o seguinte resultado, de acordo com a tabela 26 abaixo.

Tabela 26: Interpolação de v e μ na direção X.

interpolação 1		μ_1	μ	μ_2
tabela	0,2	0,1	0,15	0,2
V1	0,5	0	0,15	0,3
V	0,57		0,17	
V2	0,6	0	0,18	0,35

Fonte: Autor.

Temos que $W=0,17$.

$$A_{sx} = \frac{w \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}{F_{yd}}$$

$$A_{sx} = 9,50 \text{ cm}^2$$

Área de aço na direção X

Dimensionamento na direção “Y”

e_{1y} é o maior valor entre:

$$e_{ay} = \frac{L_e}{400}$$

$$e_{1y, \min} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ay} = 0,825$$

$$e_{1x, \min} = 2,7$$

$$V_o = \frac{F_d}{A_c \cdot F_{cd}}$$

$$V_o = 0,50$$

$$e_{2y} = \frac{L_e y^2 \cdot 0,005}{10 \cdot (V_o + 0,5) \cdot h_y}$$

$$e_{2y} = 1,36$$

$$I_{cy} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{cy} = 106666,67 \text{ cm}^4$$

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot Ecs \cdot I_{cx}}{L_{ex}^2}$$

$$P_{ey} = 31741,96 \text{ Kn}$$

$$e_{cy} = e_{ay} \cdot [e^{\frac{\varphi \infty \cdot Fk}{P_{ex} - Fk}} - 1]$$

$$e_{cy} = 0,08 \text{ cm}$$

e_{1y} é o maior valor entre:

$$e_{ax} = \frac{Le}{400} \quad e_{1x, \text{ min}} = 1,5 + 0,03 \cdot h$$

$$e_{ax} = 0,1$$

$$e_{1x, \text{ min}} = 2,7$$

Logo a excentricidade total é sem somar a excentricidade de fluência já que o λ deu menor que 50.

$$E_x = 4,06 \text{ cm}$$

Cálculo do momento

$$M_d = F_d \cdot e_x$$

$$M_d = 5685,75 \text{ Kn.cm}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$\sigma_{cd} = 3,04$$

$$v = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}$$

$$v = 0,58$$

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{cd}}$$

$$\mu = 0,06$$

$$\delta = \frac{d'}{h}$$

$$\delta = 0,1$$

Com essas informações, deve-se utilizar a tabela do Araujo (2010) para descobrir os valores de “W” para o cálculo de dimensionamento da armadura, como δ deu 0,1 utiliza-se esse valor como base para achar o valor de “W” na tabela, na tabela 27 abaixo mostra os valores de W para o cálculo.

Tabela 27: Valores de W para o dimensionamento na direção Y.

$\delta=0,10$									
Valores de ω									
μ									
$v \parallel$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0	0	0,24	0,49	0,74	0,99	1,24	1,49	1,74	1,99
0,1	0	0,14	0,39	0,64	0,9	1,15	1,4	1,65	1,9
0,2	0	0,05	0,3	0,55	0,8	1,05	1,3	1,55	1,8
0,3	0	0	0,24	0,49	0,74	0,99	1,24	1,49	1,74
0,4	0	0	0,2	0,45	0,7	0,95	1,2	1,45	1,7
0,5	0	0	0,21	0,47	0,73	0,98	1,23	1,49	1,74
0,6	0	0	0,25	0,53	0,79	1,05	1,31	1,56	1,82
0,7	0	0	0,3	0,59	0,86	1,13	1,39	1,65	1,9
0,8	0	0,06	0,37	0,66	0,94	1,2	1,47	1,73	1,99
0,9	0	0,15	0,44	0,73	1,01	1,28	1,55	1,81	2,07
1	0	0,24	0,52	0,81	1,09	1,36	1,63	1,9	2,16
1,1	0,11	0,34	0,61	0,89	1,17	1,45	1,72	1,98	2,24
1,2	0,22	0,44	0,7	0,98	1,26	1,53	1,8	2,07	2,33
1,3	0,33	0,54	0,79	1,07	1,35	1,62	1,89	2,16	2,42
1,4	0,43	0,64	0,89	1,16	1,43	1,71	1,98	2,24	2,51
1,5	0,54	0,75	0,99	1,25	1,53	1,8	2,07	2,33	2,6
1,6	0,65	0,85	1,09	1,35	1,62	1,89	2,16	2,42	2,69
1,7	0,76	0,95	1,19	1,44	1,71	1,98	2,25	2,51	2,78
1,8	0,87	1,05	1,29	1,54	1,8	2,07	2,34	2,61	2,87
1,9	0,98	1,15	1,39	1,64	1,9	2,17	2,43	2,7	2,96
2	1,09	1,25	1,49	1,74	2	2,26	2,53	2,79	3,06

Fonte: ARAUJO, 2010 – elaborado pelo autor.

Fazendo a interpolação para obter o valor de W temos o seguinte resultado, de acordo com a tabela 28 abaixo.

Tabela 28: Interpolação de v e μ na direção Y.

interpolação 1		μ_1	μ	μ_2
tabela	$\delta=0,1$	0	0,06	0,1
V1	0,5	0	0,00	0
V	0,58		0,00	
V2	0,6	0	0,00	0

Fonte: Autor.

Temos que $W=0$.

$$A_{sy} = \frac{w \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}{F_{yd}}$$

$$A_{sx} = 0 \text{ cm}^2$$

Área de aço na direção Y.

Logo adotamos o maior valor da área de aço entre as direções.

$$A_s = 9,50 \text{ cm}^2$$

4. RESULTADOS

Após realizar os cálculos de armadura temos os resultados das áreas de aço onde utiliza-se uma tabela que mostra a quantidade de barras necessárias para cada área descoberta, na tabela 29 mostra os resultados de aço.

Tabela 29: Uso de aço em cada situação de cálculo

Dimensionamentos	Área de aço (cm ²)	Bitola	Quantidade de Barras	FCK
Cálculo 1	28,77	Ø20mm	10	25
Cálculo 2	23,80	Ø20mm	8	30
Cálculo 3	14,75	Ø16mm	8	40
Cálculo 4	9,50	Ø12,5mm	8	50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para saber o uso de concreto em m³ nos pilares em questão devemos utilizar a seguinte formula:

$$B * H * L$$

Onde:

B= Base da seção transversal.

H= Altura da seção transversal.

L= Comprimento do pilar.

Chegamos ao valor de 0,264 m³ de concreto por pilar.

O consumo de concreto é o mesmo para todos os cálculos já que sua seção não se altera, apenas o FCK do concreto.

4.1 Valores para o Cálculo 1

Para o cálculo 1 que foi realizado o dimensionamento utilizando o FCK de 25Mpa teve como resultados na tabela 30 os seguintes valores.

Tabela 30: Resumo de custos 25Mpa

Relação custos por material (R\$)	
Aço	516,40
Concreto	176,35
Total	692,75

Fonte: Autor.

4.2 Valores para o Cálculo 2

Para o cálculo 2 que foi realizado o dimensionamento utilizando o FCK de 30Mpa teve como resultados na tabela 31 os seguintes valores.

Tabela 31: Resumo de custos 30Mpa

Relação custos por material (R\$)	
Aço	413,11
Concreto	180,31
Total	593,42

Fonte: Autor.

4.3 Valores para o Cálculo 3

Para o cálculo 3 que foi realizado o dimensionamento utilizando o FCK de 40Mpa teve como resultados na tabela 32 os seguintes valores.

Tabela 32: Resumo de custos 40Mpa

Relação custos por material (R\$)	
Aço	264,37
Concreto	201,70
Total	466,07

Fonte: Autor.

4.4 Valores para o Cálculo 4

Para o cálculo 4 que foi realizado o dimensionamento utilizando o FCK de 50Mpa teve como resultados na tabela 32 os seguintes valores.

Tabela 33: Resumo de custos 50Mpa

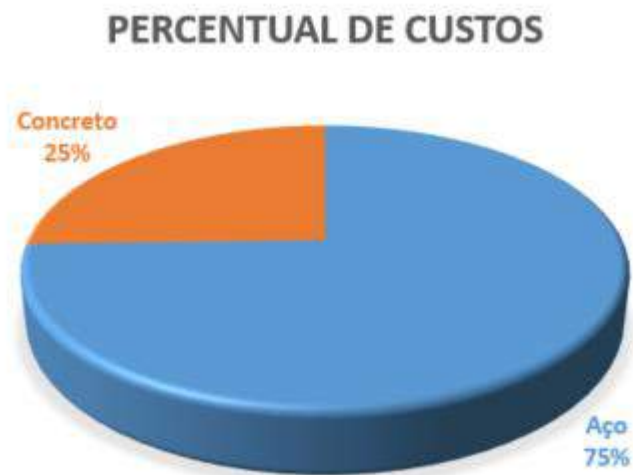
Relação custos por material (R\$)	
Aço	161,35
Concreto	226,51
Total	387,86

Fonte: Autor.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para o primeiro cálculo, relativo ao concreto de 25Mpa temos as seguintes porcentagens dos valores, de cada material, no gráfico 1 abaixo mostra a quantidade em porcentagem dos custos de cada material, aço e concreto.

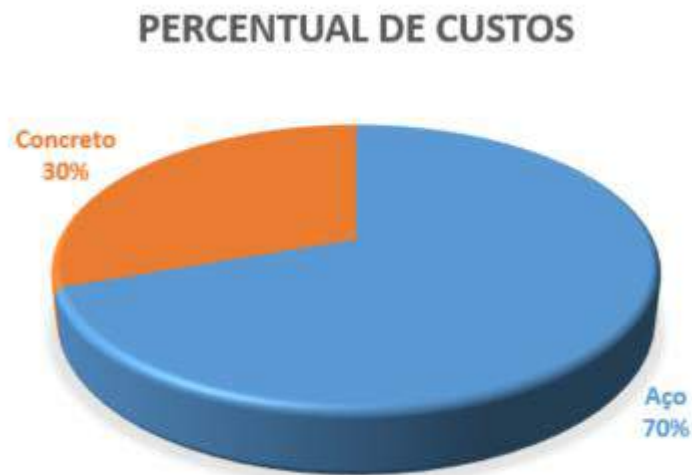
Gráfico 1: Percentual dos custos relacionados aos materiais.



Fonte: Autor.

Para o segundo cálculo, relativo ao concreto de 30Mpa temos as seguintes porcentagens dos valores, de cada material, no gráfico 2 abaixo mostra a quantidade em porcentagem dos custos de cada material, aço e concreto.

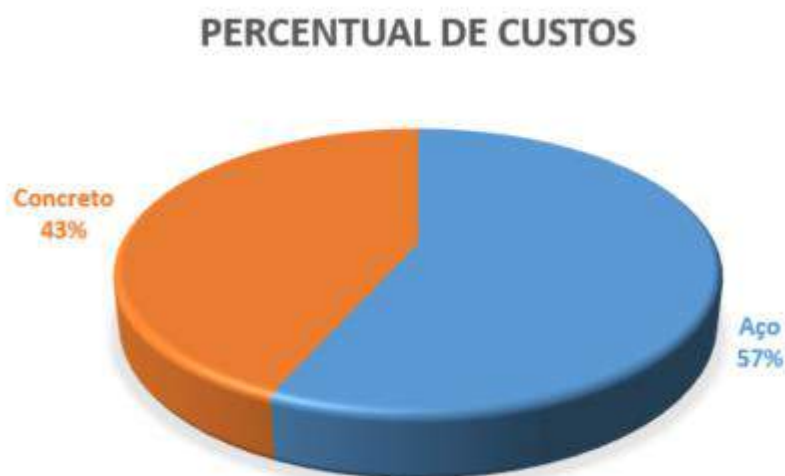
Gráfico 2: Percentual dos custos relacionados aos materiais.



Fonte: Autor.

Para o terceiro cálculo, relativo ao concreto de 40Mpa temos as seguintes porcentagens dos valores, de cada material, no gráfico 3 abaixo mostra a quantidade em porcentagem dos custos de cada material, aço e concreto.

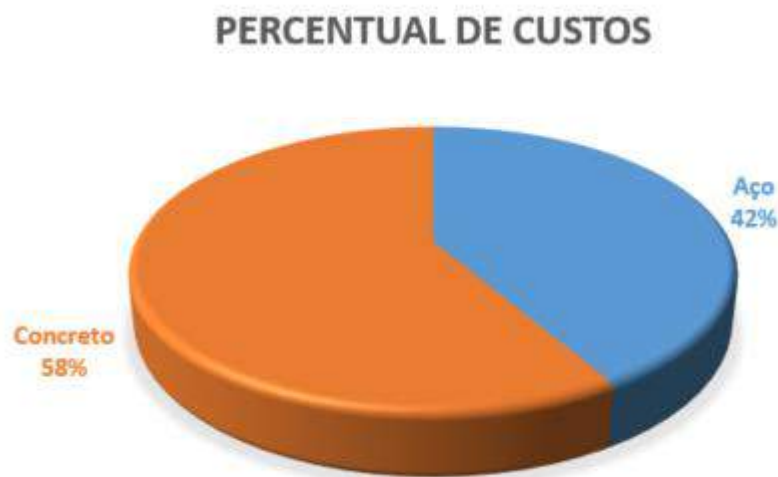
Gráfico 3: Percentual dos custos relacionados aos materiais.



Fonte: Autor.

Para o quarto cálculo, relativo ao concreto de 50Mpa temos as seguintes porcentagens dos valores, de cada material, no gráfico 4 abaixo mostra a quantidade em porcentagem dos custos de cada material, aço e concreto.

Gráfico 4: Percentual dos custos relacionados aos materiais.



Fonte: Autor.

Após essa análise é possível observar que conforme aumentamos o FCK do concreto temos uma redução dos custos totais, nas tabelas a seguir mostra os descontos entre cada FCK calculado.

Tabela 34: Desconto dos valores totais do FCK de 25 para o 30.

FCK	Custos Totais de cada Cálculo	Percentual
25Mpa	692,75	100,00%
30Mpa	593,42	85,66%
Desconto	99,33	14,34%

Fonte: Autor

Tabela 35: Desconto dos valores totais do FCK de 30 para o 40.

FCK	Custos Totais de cada Cálculo	Percentual
30Mpa	593,42	100,00%
40Mpa	466,07	78,54%
Desconto	127,35	21,46%

Tabela 35: Desconto dos valores totais do FCK de 40 para o 50.

FCK	Custos Totais de cada Cálculo	Percentual
40Mpa	466,07	100,00%
50Mpa	387,86	83,22%
Desconto	78,21	16,78%

Conforme aumentamos o FCK tem-se uma redução nos valores, porém a medida que aumentamos excessivamente, podemos observar que as porcentagens de descontos começam a diminuir.

Após analisar os resultados deve-se ver até onde é viável fazer essa alteração de FCK para ganho de desempenho e custo reduzido em relação à FCK's menores.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 Comentários Gerais e Conclusões

Neste trabalho foi feito o dimensionamento de pilares intermediários de concreto armado utilizando o método do Araújo.

No Capítulo 2, falando sobre concreto, apresentou-se os tipos de concreto previstos pelas normas brasileiras, mostrando cada tipo e suas siglas e grupos, até mesmo os materiais utilizados para sua produção. Concreto armado mesmo sendo algo que não é novidade no mercado ainda muito utilizado no Brasil, apresentando suas vantagens e a fins sobre sua utilização.

Feature Compression Know (FCK), nome da sigla utilizada a referir a compressão característica do concreto, a obtenção dos valores seguindo as normas da ABNT, neste capítulo mostrou-se também tipos de pilares e elementos estruturais.

No Capítulo 3, mostra como foi realizado os cálculos para obtenção das armaduras, cálculos detalhados para melhor compreensão, utilizado pilares intermediários de concreto armado com a seção de 20x40cm.

No Capítulo 4 tem-se os resultados obtidos dos dimensionamentos e valores relativos a o concreto e ao aço que seria utilizado para realização desses pilares.

A partir dos resultados obtidos calculados através do método do Araújo, através da pesquisa tem-se um aumento na rigidez dos pilares de acordo com que aumentamos o FCK do concreto, podendo assim diminuir os deslocamentos possíveis trazendo a possibilidade de uma estrutura mais estável.

Em relação aos custos a cada alteração do FCK, tem uma diminuição considerável da taxa de armadura em cada pilar conforme aumenta-se a resistência do concreto, tem-se cerca

de 31,24% de redução de aço, do FCK de 25 para o de 50, mesmo que o valor do concreto aumentou, ainda sim tornou-se viável essa alteração, devido a redução da armadura. Concluiu-se que analisando apenas pilares de concreto armado intermediários quando se aumenta o FCK do concreto tem uma diminuição significativa no custo de cada pilar dimensionado, cerca de 55,98% de redução nos custos totais, nos dimensionamentos em questão tornou-se viável aumentar o FCK.

6.2 Sugestões

Apresenta-se a seguir algumas sugestões para complemento desse trabalho listadas em tópicos.

- 1) Realizar o dimensionamento da estrutura completa, incluindo vigas e lajes.
- 2) Realizar o dimensionamento com os outros tipos de pilares, pilares de extremidade e de canto.
- 3) Aplicação desse método de cálculo apresentado nesse trabalho em situação de incêndio.
- 4) Aplicação desse método em regiões de classe de agressividade maiores que 2, como regiões marítimas, respeitando a NBR 6118:2014.
- 5) Dimensionar utilizando softwares estruturais, afim de ver a margem de erro comparado com esse método.

REFERÊNCIAS

CHONG RONG. **In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Concrete Composite Columns**, 2023.

SCHNEIDER, N. **Fck do concreto: o que é, como é obtido e quais são as recomendações normativas?** 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/fck-do-concreto/>

KEVIN PAOLO V. ROBLES; NENAD GUCUNSKI; SEONG-HOON KEE, **Evaluation of steel corrosion-induced concrete damage using electrical resistivity measurements**, Construction and Building Materials, 2024.

EGYDIO PILOTTO NETO, **Caderno de receitas de concreto armado**, 2017.

ANTONIO CARLOS DA SILVA ROLIM, **Estruturas de Concreto Armado Para Edificações**. 2022.

KIM S. ELLIOTT; ZUHAIRI ABD. HAMID, **Modernisation, Mechanisation and Industrialisation of Concrete Structures**, 2017.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, **Structural Design for Physical Security**, 2021.

APL. Classe de resistência do concreto. **O que é FCK e MPA?**, 2020. Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/classe-de-resistencia-do-concreto-o-que-e-fck-e-mpa/>

PAULO SERGIO DOS SANTOS BASTOS, **Fundamentos do concreto armado**, 2019.

MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, PAULO J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**, 2014.

ALIO KIMURA, **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**, 2007.

PORTO, B. T; FERNANDES, D. **Curso Básico de Concreto Armado**, 2015.

NEVILLE, M. A, **Tecnologia Do Concreto**, 2013.

MOREIRA, P. M. R, **Corrosão do Reforço de Concreto Armado**, 2022.

VIEIRA, L. G; MOLIN C. C. D. **Avaliação da Resistência à Compressão, Resistência à Tração e Formação de Microfissuras Em Concretos...**, 2011.

SANTOS, A. C; SOUZA, J. L. A. O; BITTENCOURT, T. N. **Determinação da Tenacidade ao Fraturamento do Concreto com Corpos de Prova do Tipo Short-Rod**, 2003

ANDRADE, O. S. B. **Concreto Armado: Um Estudo Sobre o Processo Histórico, Características, Durabilidade, Protensão e Recuperação de suas Estruturas**, 2016.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, 2005.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**, 2 ED, 2014.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**, 2019.

SOUZA, J. T. F. **Estruturas de Concreto Armado**, 2012.

BOTELHO, M. H. C. **Concreto Armado Eu Te Amo, Para Arquitetos**, 2 ED, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697: Cimento Portland**, 2018.

MARTHA, L, F. **Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos**, 2017.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. Estrutura de Concreto: Armação – decisões. 2003. Disponível em:
<https://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemasconstrutivos/3/armacao-decisoes/execucao/54/armacao-decisoes.html>.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. Vol. 1. Ed. 10. São Paulo: Edgard Blucher, 2019.

CRUZ, T. Concreto Armado: Entenda Quando é a Melhor Escolha Para o Projeto. Construção e Reforma. **Viva Decora**. 2021. Disponível em:
<https://www.vivadecora.com.br/pro/concretoarmado/>.

REGANATI, B. **Concreto Armado: O que é? Quais vantagens e desvantagens?** Blog do Concreto. Concreto usinado. 2019. Disponível em:
<https://www.concretousinado.com.br/noticias/concreto-armado/>.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

HELENE, Paulo Roberto Lago. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

FALCONE, F. *et al.* **Fundações: teoria e pratica**, 1998.

FUSCO, P.B. **Estruturas de concreto – solicitações normais**, 1981.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO F. J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**, 2014.

BASTOS, P. S. S. **Pilares de Concreto Armado**, 2017. Disponível em:
<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Pilares.pdf>

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**, Vol. 3, 2010.