



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO
ENGENHARIA CIVIL**

ANTONIO LUIZ PEREIRA NETO

**DIMENSIONAMENTO DE VIGA EM CONCRETO ARMADO
COM VARIAÇÃO DE CARGA PONTUAL**

**FORTALEZA
2021**

ANTONIO LUIZ PEREIRA NETO

DIMENSIONAMENTO DE VIGA EM CONCRETO ARMADO
COM VARIAÇÃO DE CARGA PONTUAL

Esta monografia apresentada no dia 04 de junho de 2021 como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil do Centro Universitário FAMETRO – UNIFAMETRO – tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

FORTALEZA

2021

ANTONIO LUIZ PEREIRA NETO

DIMENSIONAMENTO DE VIGA EM CONCRETO ARMADO
COM VARIAÇÃO DE CARGA PONTUAL

Esta monografia apresentada no dia 04 de junho de 2021 como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil do Centro Universitário FAMETRO – UNIFAMETRO – tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

BANCA EXAMINADORA

Professor Ms. Márcio Bandeira de Oliveira
Orientador – Centro Universitário FAMETRO – UNIFAMETRO

Professor Ms. Adriano Sampaio de Lima
Membro - Centro Universitário FAMETRO – UNIFAMETRO

Professor Ms. Márcio Nunes Normando
Membro - Externo

P436d

Pereira Neto, Antonio Luiz.

Dimensionamento de viga em concreto armado com variação de carga pontual. / Antonio Luiz
Pereira Neto. – Fortaleza, 2021.

36 f. ; 30 cm.

Monografia – Curso de graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. M.e Márcio Bandeira de Oliveira.

1. Viga. 2. Concreto armado. 3. Engenharia Civil. I. Título.

CDD 624.17723

Ao professor Marcio Bandeira, que com sua dedicação e cuidado, orientou-me na produção deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela ajuda e proteção, pela Sua força e presença constante, e por me guiar à conclusão de mais uma preciosa etapa de minha vida.

A família, que sempre me apoiou nos meus sonhos e se hoje estou aqui foi por conta de todo apoio recebido.

Aos professores, que fizeram parte da minha caminhada durante este período. Meu orientador, Marcio Bandeira, pela forma como leciona e trata seus alunos, com carinho e respeito, por ter sido incessante incentivador deste trabalho e uma referência pessoal.

A imaginação é mais importante que o conhecimento.

Albert Einstein

RESUMO

O estudo em questão trata do dimensionamento de uma viga simplesmente armada com variação de uma carga pontual, buscando analisar a variação do momento fletor e consequente área de aço longitudinal através do estudo de uma envoltória para o esforço solicitante citado. Na análise de caso foi modelada uma viga duplamente apoiada de concreto armado retangular com carregamento contínuo para dimensionamento do aço longitudinal. A viga foi submetida a uma carga pontual com deslocamento a cada 0,5 m (50 cm) e a fim de calcularmos a variação do momento fletor no centro e nas extremidades da peça sempre respeitando as determinações da NBR 6118/2014 e a ABNT NBR 7480.

Palavras-chave: Viga simplesmente armada no ftool; Momentos Fletores; FTOOL; EXCEL; Flexão simples de viga de concreto armado;

ABSTRACT

The study in question deals with the design of a beam simply reinforced with variation of a point load, seeking to analyze the variation of the bending moment and consequent longitudinal steel area through the study of an envelope for the aforementioned requesting effort. In the case analysis, a double supported rectangular reinforced concrete beam with continuous loading was modeled for dimensioning the longitudinal steel. The beam was subjected to a point load with displacement every 0.5 m (50 cm) and in order to calculate the bending moment variation in the center and ends of the piece, always respecting the determinations of NBR 6118/2014 and ABNT NBR 7480.

Keywords: Beam simply armed in ftool; Bending Moments; FTOOL; EXCEL; Simple bending of reinforced concrete beam.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Estrutura em concreto armado | 16 |
| Figura 2: exemplos de estruturas de concreto armado | 17 |
| Figura 3: Barras de aço e espaçadores de concreto | 17 |
| Figura 4: Diagramas de tensões em seus respectivos Estádios | 20 |
| Figura 5: Estádios de deformação de uma seção de concreto | 22 |
| Figura 6: Modelo teórico resistente de uma viga | 23 |
| Figura 7: Viga com armadura simples | 23 |
| Figura 8: Diagramas de tensões e deformações em concretos de qualquer classe (ELU) | 24 |
| Figura 9: Distribuição de tensões de compressão segundo os diagramas parábola-retângulo | 25 |
| Figura 10: Viga bi apoiada | 25 |
| Figura 11: Demonstração da linha neutra em viga..... | 26 |
| Figura 12: Linha neutra em viga retangular | 27 |
| Figura 13: Demonstração da viga no Ftool | 28 |
| Figura 14: Demonstração da viga no Ftool | 28 |
| Figura 15: Carga pontual a 0,5m do apoio esquerdo | 30 |
| Figura 16: Momento fletor máximo no valor de 36,03 KNm | 30 |
| Figura 17: Carga pontual a 1 m do apoio esquerdo | 31 |
| Figura 18: Momento fletor máximo no valor de 50,43 KNm | 31 |
| Figura 19: Carga pontual a 1,5 m do apoio esquerdo | 31 |
| Figura 20: Momento fletor máximo no valor de 64,11 KNm | 32 |
| Figura 21: Carga pontual a 2 m do apoio esquerdo | 32 |
| Figura 22: Momento fletor máximo no valor de 68,76 KNm | 32 |
| Figura 23: Tabela de momentos no Excel | 33 |
| Figura 24: Situação mais crítica da viga no Ftool | 35 |
| Figura 25: Momentos da situação mais crítica no Ftool | 36 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Classes de resistência de concretos estruturais | 19 |
| Tabela 2: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto | 19 |
| Tabela 3: Classes de agressividade ambiental (CAA) | 20 |
| Tabela 4: Momentos e armaduras positivas no Excel | 33 |
| Tabela 5: Momentos e armaduras negativas no Excel | 34 |
| Tabela 6: Área do Aço da seção conforme número de barras | 35 |
| Tabela 7: Dimensionamento do Aço a ser utilizado no estudo da viga | 36 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ELU – Estado limite último

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

MPa – Mega Pascal

m - metros

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 14 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 15 |
| | 1.2.1 GERAL..... | 15 |
| | 1.2.2 ESPECÍFICOS | 15 |
| 1.3 | ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 15 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 2.1 | CONCRETO ARMADO..... | 16 |
| | 2.1.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO | 18 |
| | 2.1.2 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO FCK | 18 |
| | 2.1.3 ESTÁDIOS DO CONCRETO | 20 |
| 2.2 | VIGAS | 22 |
| | 2.2.1 MODELO TEÓRICO RESISTENTE | 22 |
| | 2.2.2 FLEXÃO EM VIGAS DE CONCRETO | 23 |
| | 2.2.3 LINHA NEUTRA..... | 26 |
| 3 | METODOLOGIA | 27 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 29 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 34 |
| | REFERÊNCIAS | 37 |

1 INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O sistema estrutural é geralmente feito de concreto armado, estrutura metálica ou estrutura de madeira. O concreto protendido também é amplamente utilizado, principalmente em grandes edifícios. No Brasil, os materiais de construção são os mais extensos, O tipo mais comum é o concreto armado.

Essas estruturas são responsáveis pelo suporte da casa. Eles transferem o peso (carga) do edifício para a fundação, que então distribui a carga para o solo. Estruturas de concreto armado são as estruturas mais comuns nas residências brasileiras. O concreto armado é uma combinação de concreto e aço, ou seja, cada parte da estrutura é composta por uma moldura, que é feita de barras de aço recobertas com concreto. O aço é tênsil (movimento lateral), enquanto o concreto é compressivo (movimento vertical). Isso torna a combinação de concreto e aço muito eficaz e amplamente utilizada em vários tipos de projetos. Nas casas, as estruturas de concreto armado mais comumente usadas são lajes de viga-pilar.

Sabendo disso, a viga é um membro da haste e tem a função de vencer o vão atuando principalmente sob a ação de flexão e cisalhamento. Quando apenas a força de flambagem é aplicada a ele, a flambagem normal simples será necessária, e o plano de ação da força de flambagem contém um dos eixos inerciais da seção transversal.

A respeito desse estudo, foi analisado o comportamento da viga com uma variação de carga pontual para entender em qual situação a viga vai estar mais comprometida e buscar com essa envoltória de momentos, proteger a viga em todos os diferentes casos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 GERAL

Estudar a seção do aço longitudinal à flexão de uma viga de concreto armado devido a variação do posicionamento de uma carga pontual estando a viga submetida a carregamento contínuo.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- a) Modelar no Ftool uma viga retangular com carregamento contínuo e carregamento pontual.
- b) Submeter a mesma viga a uma carga pontual com deslocamento a cada meio metro (0,5m) e calcular os momentos fletores característicos máximos.
- c) Dimensionar a armadura longitudinal positiva e negativa para os momentos calculados e analisar a variação de sua área.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos. No capítulo 1 são apresentados as considerações iniciais, os objetivos e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 disserta-se acerca dos materiais usados para o estudo de caso (o concreto armado e a viga) e suas propriedades. Apresentam-se também as disposições normativas referentes a estes materiais.

No capítulo 3 é abordada a metodologia utilizada para o estudo em questão, como dimensionamento e o tipo de viga a ser utilizada, além dos materiais utilizados, como o tipo de concreto armado e o tipo de viga a ser estudada.

No capítulo 4 discutiremos sobre os resultados obtidos através da utilização das ferramentas FTOOL e EXCEL (da Microsoft), afim de criar as envoltórias de momentos e obter a área do aço a ser utilizado, bem como sugerir algum diâmetro específico da bitola do aço.

No capítulo 5 apresentam-se as conclusões referentes ao trabalho e colocam-se as sugestões de continuidade para a problemática em questão, escolhendo os melhores resultados do trabalho afim de proteger a viga no local onde ela será mais vulnerável.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Concreto Armado

Concreto armado é um tipo de estrutura que utiliza molduras feitas com barras de aço junto ao concreto, formando assim uma armação. Essas armações são utilizadas devido à baixa resistência aos esforços de tração do concreto, que tem alta resistência à compressão (PEREIRA, 2021). Observa-se na Figura 1 uma estrutura de concreto armado onde podemos observar pilar, viga e laje.

Figura 1: Estrutura em concreto armado



Fonte: Escola Engenharia

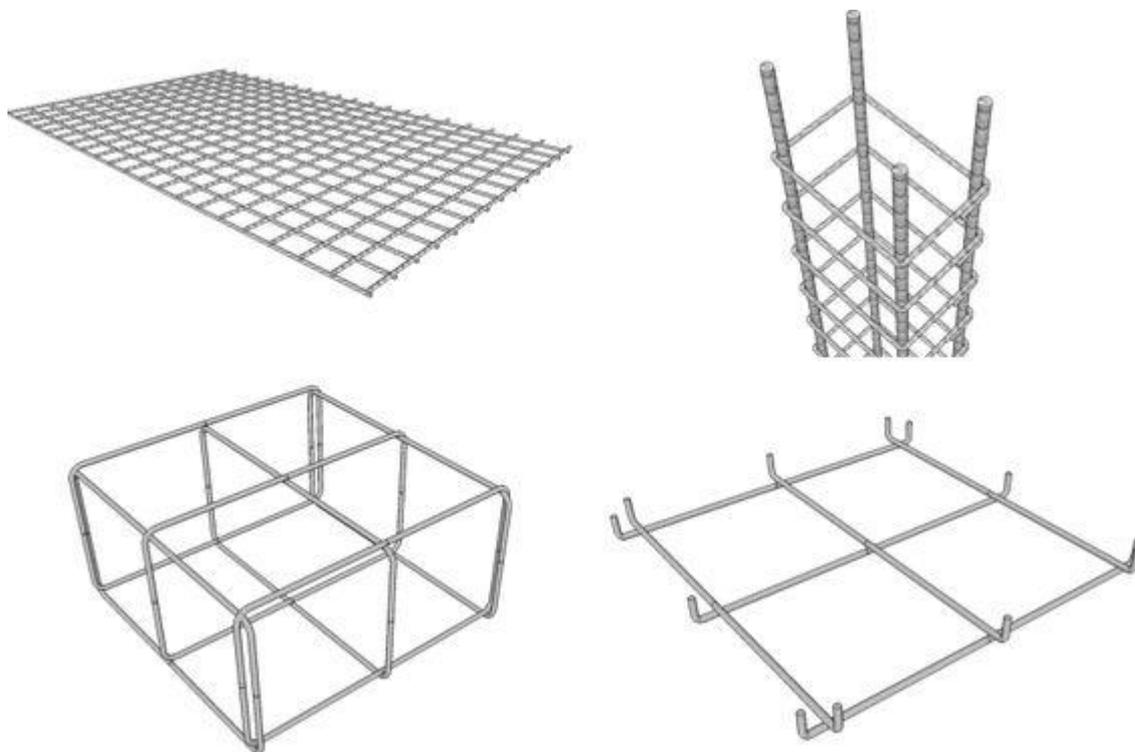
O projeto estrutural só pode ser realizado por engenheiros especializados em cálculo estrutural, no projeto é dimensionado a bitola do aço a ser usado e seus elementos, como lajes, pilares, blocos, vigas, dentre outros, assim como determinar o espaço entre as barras de aço, diâmetro e resistência do concreto.

A principal norma referente ao concreto armado é a **NBR 6118/2003 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento** e deve ser seguida pelo engenheiro responsável e acompanhada pelos órgãos reguladores.

A armadura do concreto armado é feita de aço e suas especificações devem seguir a **ABNT NBR 7480 – Barras e Fios de Aço destinados a Armaduras para**

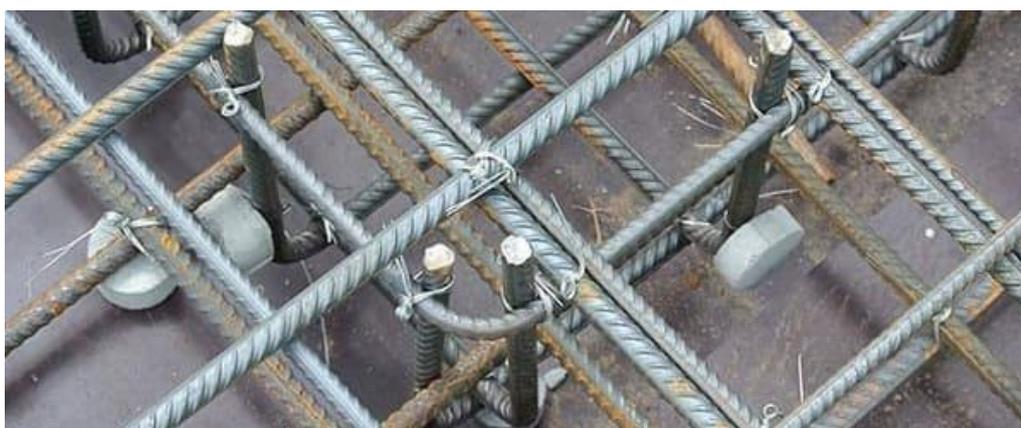
Concreto Armado. O objetivo principal da armadura de aço é oferecer resistência às tensões de tração e compressão. As Figuras 2 e 3 representam exemplos de estruturas de concreto armado, mostrando as armaduras de aço.

Figura 2: Exemplos de estruturas de concreto armado



Fonte: Vivadecora

Figura 3: Barras de aço e espaçadores de concreto



Fonte: Vivadecora

2.1.1. Resistência a compressão

O maior interesse no concreto reside nas suas propriedades mecânicas que são sua resistência a tração e compressão. A resistência à compressão é definida com base em testes de curto prazo de amostras de laboratório concentradas. Neste teste, o módulo de elasticidade longitudinal também pode ser determinado. Em seguida, algumas resistências características do concreto que são importantes para o projeto estrutural são definidas.

2.1.2. Resistência características à compressão (fck)

O fck é determinado pela ABNT NBR 6118:2014 como sendo a resistência característica à compressão do concreto. É essencial para uma correta elaboração de projetos e sua unidade é Mega Pascal (Mpa) no sistema internacional de unidades.

A norma também estipula que quando nenhuma data é especificada, fck é a resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias de idade.

O conceito de fck é essencial para projetos de estruturas de concreto. Levar em consideração o cálculo das características de resistência corretas pode contribuir muito para a quantificação precisa dos materiais, o que por sua vez afeta o orçamento da obra (SCHNEIDER, 2020).

O concreto é um dos elementos da construção civil que mais cresce em opções em comparação com as novas tecnologias. Atualmente, o fck de alguns produtos de concreto é muito alto, podendo chegar a 100 Mpa. A ABNT NBR 8953:2015 – Concreto para Fins Estruturais – classifica o concreto por gravidade específica, resistência e grupo de consistência, de acordo com o fck o concreto estrutural é dividido em duas categorias, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de resistência de concretos estruturais

| Classe de resistência Grupo I | Resistência característica à compressão MPa | Classe de resistência Grupo II | Resistência característica à compressão MPa |
|-------------------------------|---|--------------------------------|---|
| C20 | 20 | C55 | 55 |
| C25 | 25 | C60 | 60 |
| C30 | 30 | C70 | 70 |
| C35 | 35 | C80 | 80 |
| C40 | 40 | C90 | 90 |
| C45 | 45 | C100 | 100 |
| C50 | 50 | | |

Fonte: ABNT NBR 8953:2015

Além disso, a NBR 6118:2014 trata das recomendações quanto ao uso de categorias de resistência de acordo com as classes de agressão ambiental (CAA), conforme apresentados na Tabela 2 e 3.

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

| Concreto ^a | Tipo ^{b, c} | Classe de agressividade (Tabela 6.1) | | | |
|------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| | | I | II | III | IV |
| Relação água/cimento em massa | CA | ≤ 0,65 | ≤ 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: NBR 6118:2014

Tabela 3 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

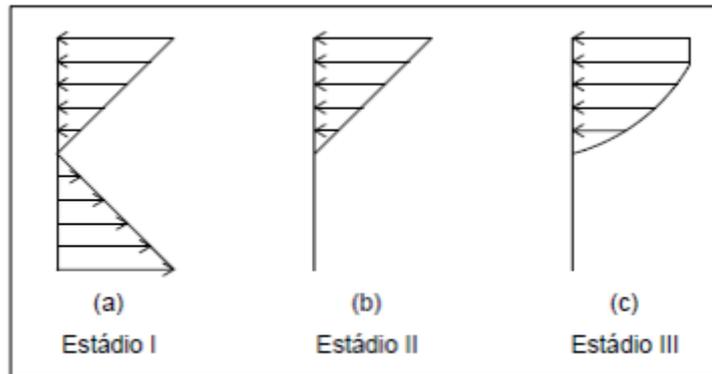
^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118:2014

2.1.3 Estádios do concreto

Os estádios caracterizam a progressão de tensões em um elemento estrutural. Logo, é possível analisar como a seção central de uma viga se comportaria exigida por um momento fletor de valor crescente. Esse desenvolvimento é conhecido como Estádios de tensões (Figura 4), a saber, (MADUREIRA, 2015):

Figura 4: Diagramas de tensões em seus respectivos Estádios



Fonte: Madureira, 2015.

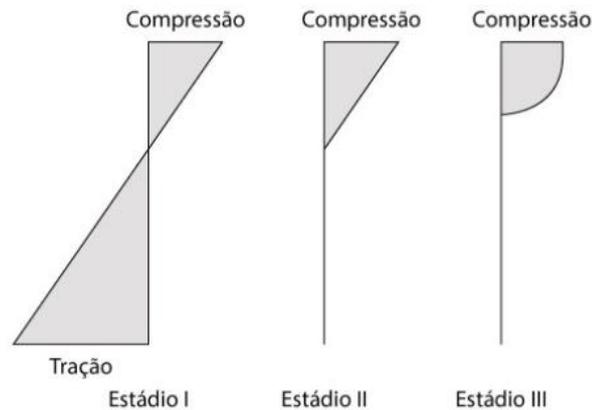
No estágio I (Figura 4a), a força de tração necessária para a carga aplicada à peça é menor que a resistência à tração do próprio concreto (sem armadura de aço), que é cerca de 10% da resistência à compressão.

No estágio II (Figura 4b), a carga aplicada torna-se suficiente para criar fissuras na área esticada do concreto, onde o reforço é necessário para resistir à tração que o concreto não consegue proporcionar.

No estágio III (Figura 4c), a carga aplicada restringe o limite de resistência da peça e não apenas trincas são geradas na área esticada da peça, mas também trincas de cisalhamento. Ao trabalhar nesta fase, geralmente é necessário aplicar reforço duplo na área de tensão e reforço lateral (estribos) para resistir às forças de cisalhamento.

“Isso significa que, no estágio I teremos a maior parte da massa da peça sendo comprimida e, no estágio III, a maior parte da massa da peça estará sendo tracionada” (SCHNEIDER, 2019). Conforme a Figura 5 mostra os estádios de deformação de uma seção de concreto.

Figura 5: Estádios de deformação de uma seção de concreto.



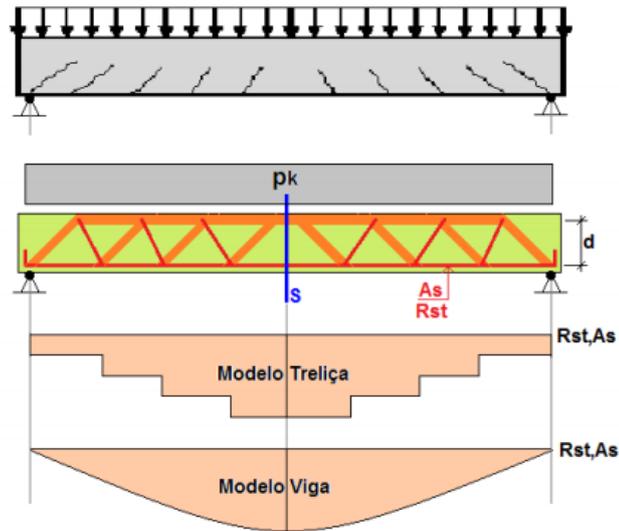
Fonte: Guia da Engenharia

2.2. Vigas

2.2.1 Modelo Teórico Resistente

Vigas de concreto armado podem ser projetadas para ter linhas diagonais internas e banzos de tensão e compressão, semelhantes à treliça isostática mostrada na Figura 6. Portanto, o valor da resultante de tração (R_{st}) da força de tração no banzo inferior (A_s) é apresentado de forma escalonada. Este modelo estabelece a base para o projeto de vigas necessárias para a tensão de cisalhamento. Ao estudar vigas que passam pelos requisitos de força de flexão, apenas banzos que são tensionados e comprimidos são permitidos e então a forma do diagrama da resultante de tração (R_{st}) é alterada (Figura 6):

Figura 6: Modelo teórico resistente de uma viga



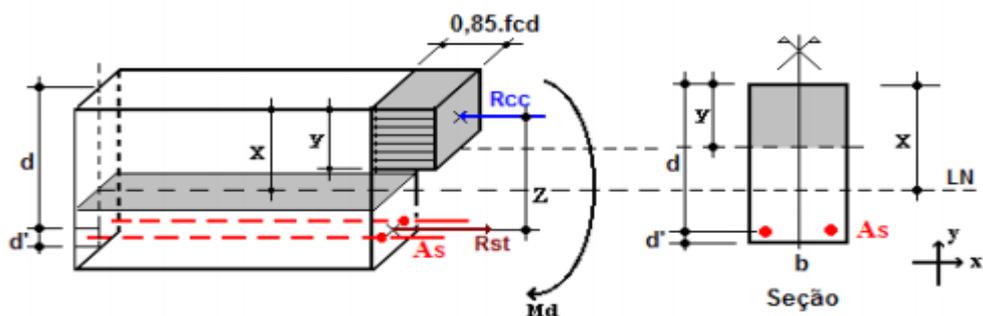
Fonte: FILHO, 2015

2.2.2 Viga Simplesmente Armada

Vigas simplesmente armadas ou simplesmente armadas são definidas como vigas em que as barras de aço (A_s) são colocadas apenas nos flanges tensionados e, na área de compressão, depende inteiramente do concreto para equilibrar as vigas geradas por compressão (R_{cc}).

Intercepte qualquer seção da viga assim reforçada, e um momento fletor (M_d) atuará nesta seção, que pode ser expresso conforme a Figura 7. Deve-se notar que um diagrama de tensões retangular do concreto é usado para compilar a equação de equilíbrio.

Figura 7: Viga com armadura simples



Fonte: Filho, 2015

Equações do equilíbrio estático:

$$\sum F_x = 0 \leftrightarrow R_{cc} - R_{st} = 0 \leftrightarrow 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot y - A_s \cdot f_{yd} = 0$$

$$\sum M_o = M_d \leftrightarrow R_{cc} \cdot Z = M_d \leftrightarrow 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot y \cdot \left(d - \frac{y}{2}\right) = 0$$

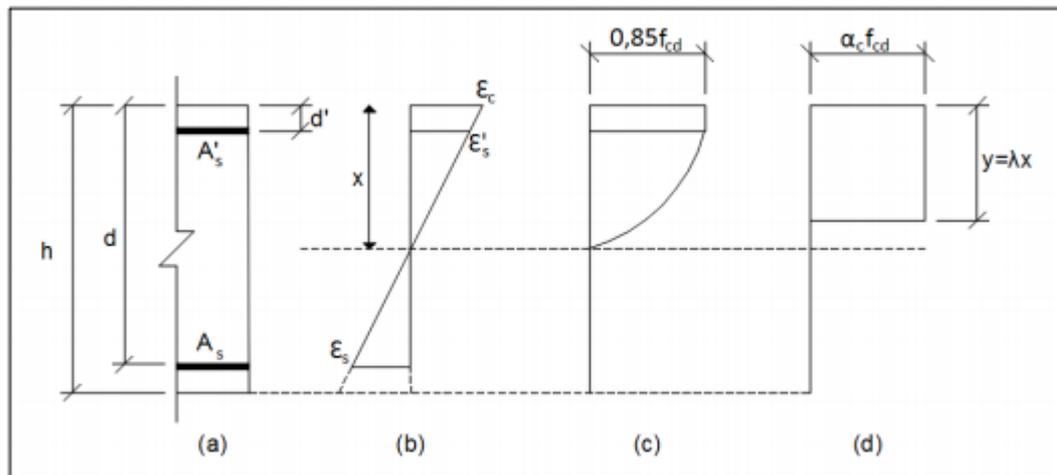
Resultando então:

$$y = d \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0,425 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}}\right)$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot y}{f_{yd}}$$

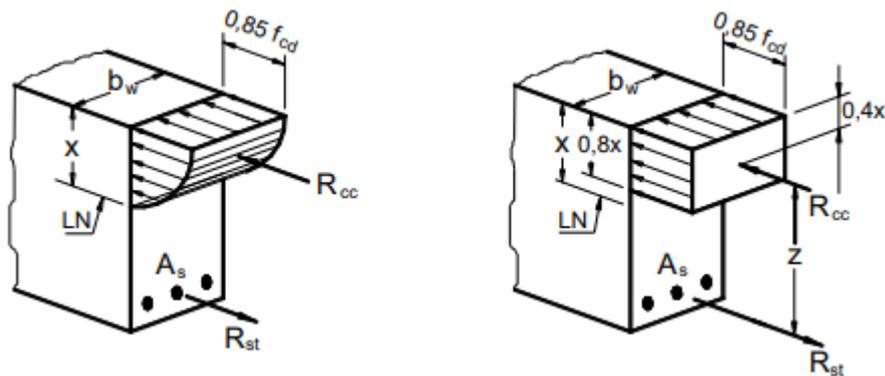
Determinar o tamanho de uma viga de concreto armado significa verificar várias etapas. Isso inclui a distribuição de armadura transversal, armadura longitudinal e verificação de flechas. Executar todas essas operações manualmente pode levar muito tempo, tornando essa prática ineficaz. No entanto, uma compreensão do processo é essencial para validar resultados anormais e inserir dados de qualidade superior. As equações do equilíbrio estático estão inseridas nas Figuras 8 e 9.

Figura 8: Diagramas de tensões e deformações em concretos de qualquer classe (ELU)



Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho, 2017.

Figura 9: Distribuição de tensões de compressão segundo os diagramas parábola-retângulo

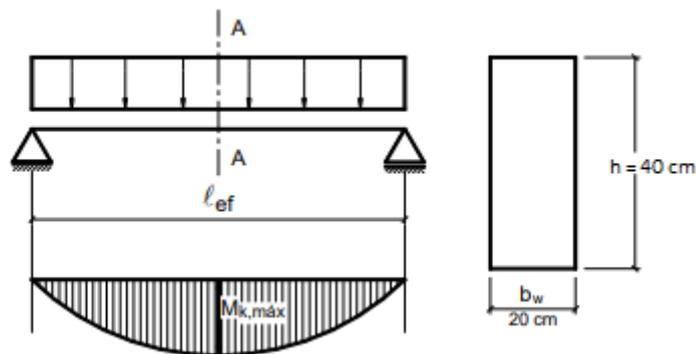


Fonte: Bastos, 2020

Embora a viga possa ter qualquer seção transversal geométrica, na maioria dos casos, a seção é retangular. Vigas simplesmente armadas são definidas como seções que requerem apenas aço longitudinal Resistência à tração, como mostra na Figura 10.

No entanto, por razões construtivas, barras de aço longitudinais também são colocadas em área de compressão para funcionar como amarração do estribo. A presença dos porta estribos na zona comprimida, auxiliam o concreto em sua resistência as solicitações de compressão.

Figura 10: Viga bi apoiada

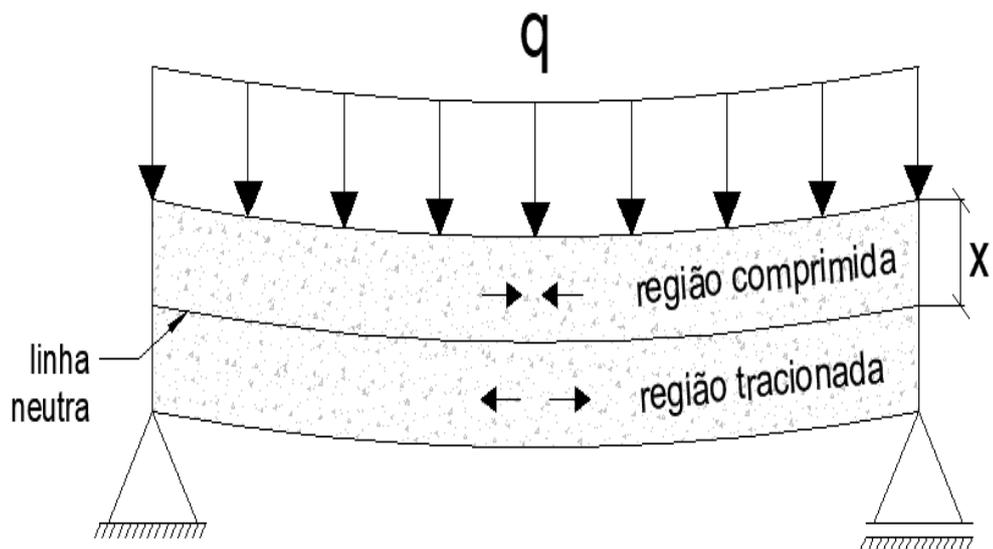


Fonte: Bastos, 2020

2.2.3 Linha Neutra

Em um elemento sobre flexão simples, a linha neutra separa a área de compressão e de tração, na linha neutra as tensões são nulas. Em um carregamento uniforme, todas as cargas transversais produzem um momento fletor que determina a posição exata dessa linha, como mostrado na Figura 11.

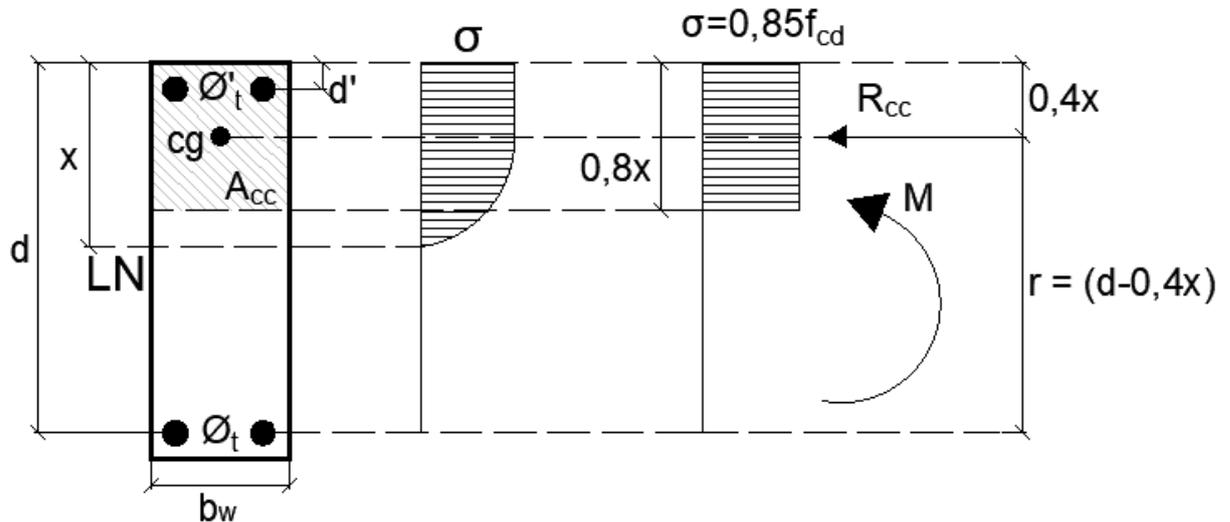
Figura 11: Demonstração da linha neutra em viga



Fonte: Núcleo do Conhecimento

Nestes elementos, a linha neutra é obtida com base no momento fletor na seção transversal. Equilibrando este momento, a equação inicial do problema é obtida em termos da zona de compressão e do aço tracionado. Algumas observações específicas na NBR 6118 (ABNT, 2014) devem ser consideradas, sendo a tensão efetiva na compressão do concreto uma delas. De acordo com o item 8.2.10 da NBR 6118 (ABNT, 2014), a tensão máxima do concreto é de 85% da tensão de projeto. Esta consideração normativa visa garantir a segurança da área de compressão do componente. A posição calculada desta linha é considerada 80% da linha real, conforme Figura 12.

Figura 12: Linha neutra em viga retangular



Fonte: Núcleo do Conhecimento

O equilíbrio de momento é dado pelo somatório do momento fletor solicitante e momento gerado pela força de reação da região comprimida. Com isso, temos a expressão abaixo.

$$M = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot A_{cc} \cdot (d - 0,4x)$$

$$A_{cc} = b_w \cdot 0,8x$$

3. METODOLOGIA

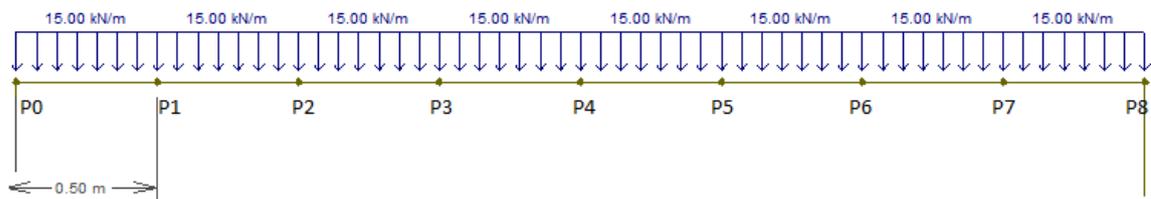
Esse trabalho trata-se de um estudo de caso aplicado, com abordagem qualitativa utilizando um método hipotético dedutivo. Foi desenvolvido um modelo matemático para cálculo analítico da armadura longitudinal tracionada devido a variação de uma carga pontual para o estado limite último (ELU).

Na modelagem utilizamos um pórtico com altura de 3 metros e comprimento 4 metros formado por dois pilares e uma viga com dimensões de 20 x 20 cm e 20 x 40 cm, respectivamente. Adotamos uma carga distribuída permanente de 15 KN/m e fizemos uma carga pontual de 50 KN caminhar a cada 0,5 metros de uma extremidade a outra da estrutura a fim de calcularmos o momento fletor máximo positivo (ao longo da viga), negativo nas extremidades do pórtico e a área de aço

longitudinal necessária para resistir as solicitações apresentadas. Adotamos um concreto com F_{ck} de 25Mpa.

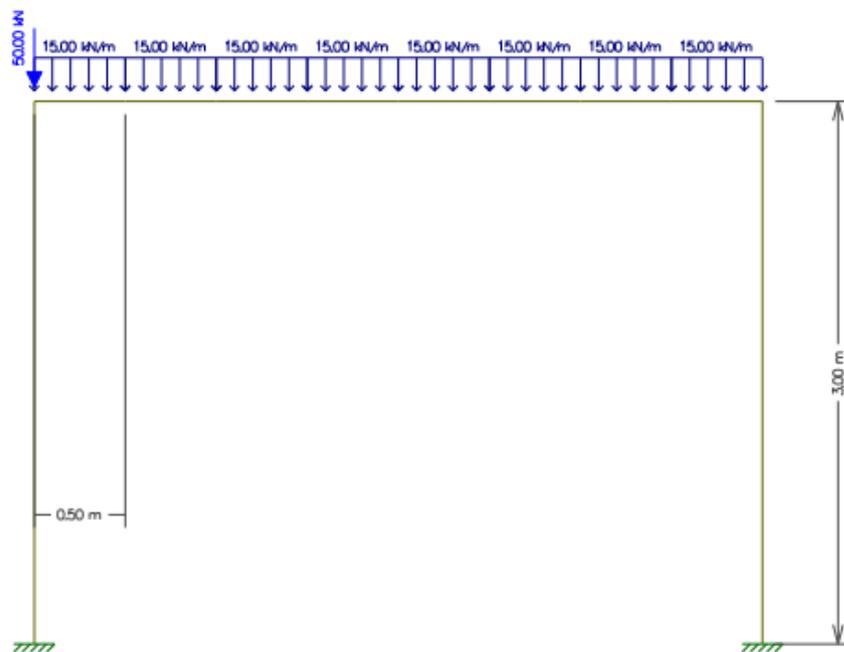
A Figura 13 e 14 apresenta o modelo utilizado no trabalho:

Figura 13: Demonstração da viga no Ftool



Fonte: Próprio Autor

Figura 14: Demonstração da viga no Ftool



Fonte: Próprio Autor

Através desse estudo e com o suporte das ferramentas, obteremos o momento, as reações nos pilares, o momento negativo e máximo em cada ponto, a linha neutra e o cálculo do aço para os momentos positivos e negativos.

Para tanto utilizamos a ferramenta FTOOL na geração dos diagramas de MOMENTO FLETOR e o Microsoft EXCEL para cálculo das armaduras longitudinais positivas (centro do pórtico) e negativas (extremidade do pórtico) através das equações da flexão em vigas simplesmente armadas a seguir:

$$M_d = 0,68 \cdot b_w \cdot X \cdot f_{cd} \cdot [d - 0,4 \cdot X] \quad (3.1)$$

Onde:

b_w = largura da seção

X = Posição da linha neutra

f_{cd} = Resistência de cálculo do concreto a compressão.

M_d = Momento interno resistente

R_{cc} = reação do concreto

R_{st} = reação do aço

Z = braço de momento

$$M_d = A_s \cdot f_{yd} \cdot [d - 0,4 \cdot X] \rightarrow A_s = \frac{M_d}{f_{yd} \cdot [d - 0,4 \cdot X]} \quad (3.2)$$

Onde:

f_{yd} = Resistência a tração de cálculo do aço.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

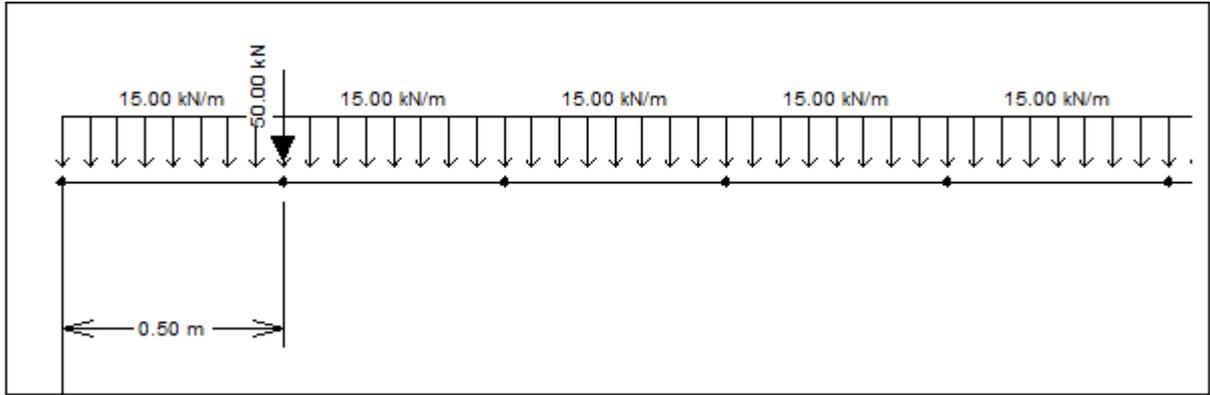
Neste capítulo serão demonstrados os valores encontrados para a viga em cada uma das diferentes situações analisadas nas quais se verificou: momento máximo, momentos negativos nos apoios, linha neutra e área do aço.

Após a aplicação da ferramenta FTOOL, obtivemos resultados dos momentos em todos os pontos analisados e denominados com siglas do P0 ao P8. Com o auxílio da ferramenta Excel, organizamos os dados extraídos do aplicativo (FTOOL)

e calculamos as áreas de aços nas zonas tracionadas para posição da carga pontual e nas extremidades do pórtico.

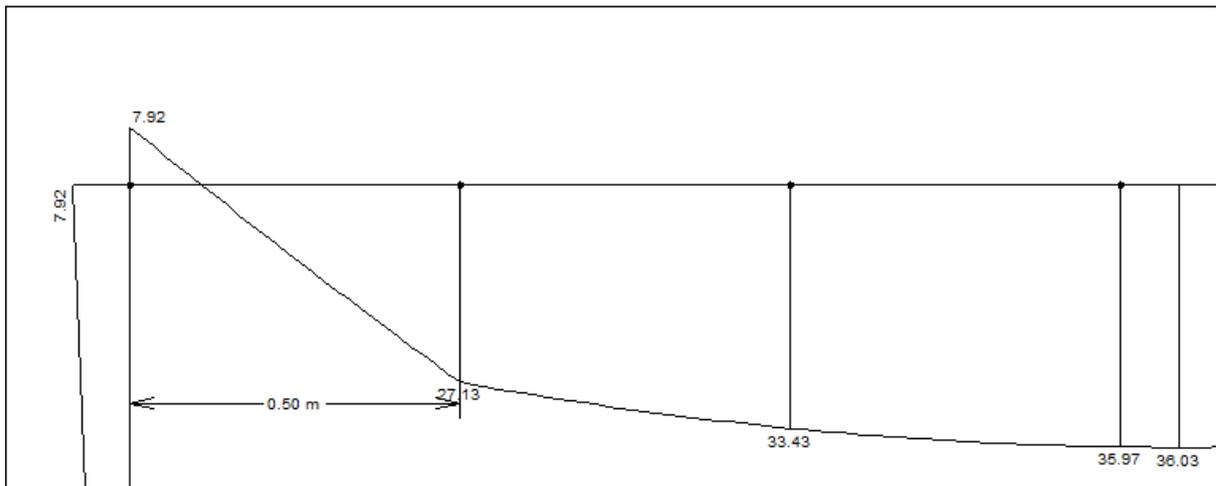
As Figuras tais mostram alguns resultados obtidos do FTOOL com variação do posicionamento da carga pontual:

Figura 15: Carga pontual a 0,5m do apoio esquerdo



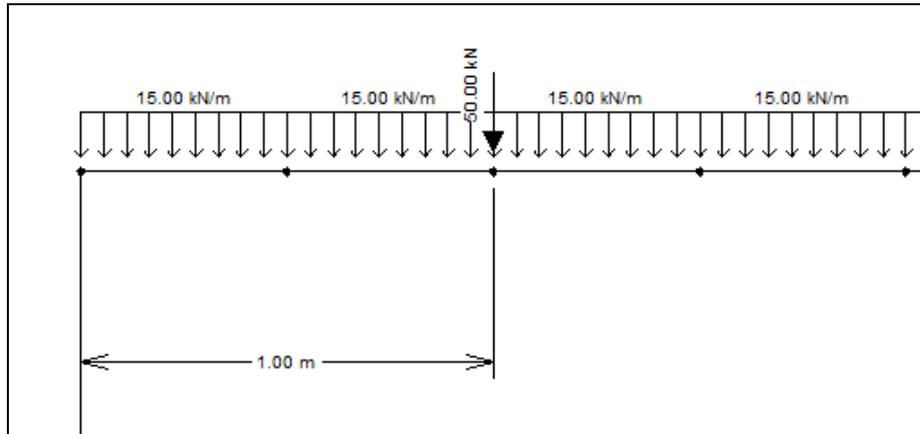
Fonte: Próprio Autor

Figura 16: Momento fletor máximo no valor de 36,03 KNm



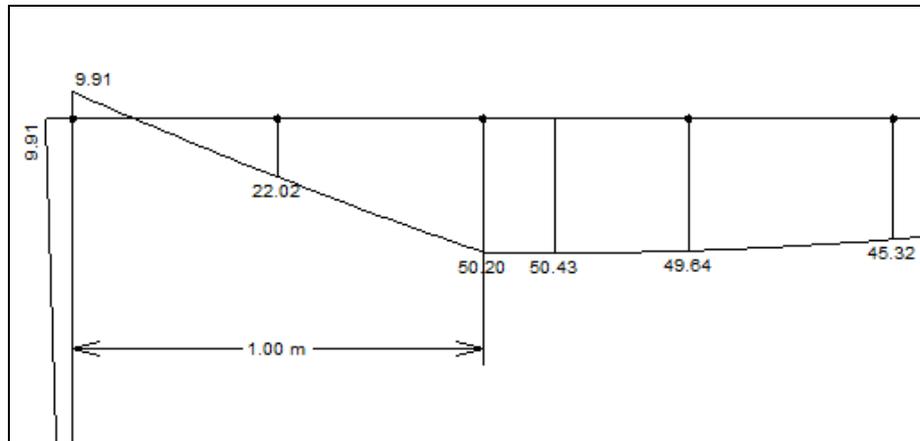
Fonte: Próprio Autor

Figura 17: Carga pontual a 1 m do apoio esquerdo



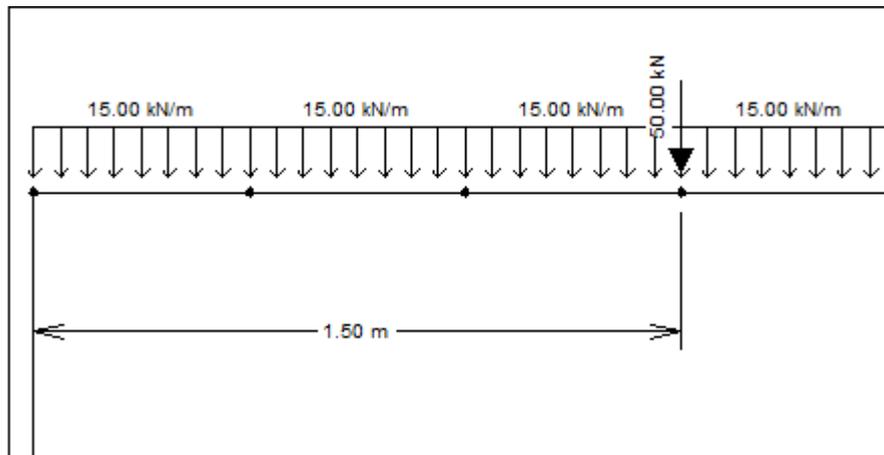
Fonte: Próprio Autor

Figura 18: Momento fletor máximo no valor de 50,43 kNm



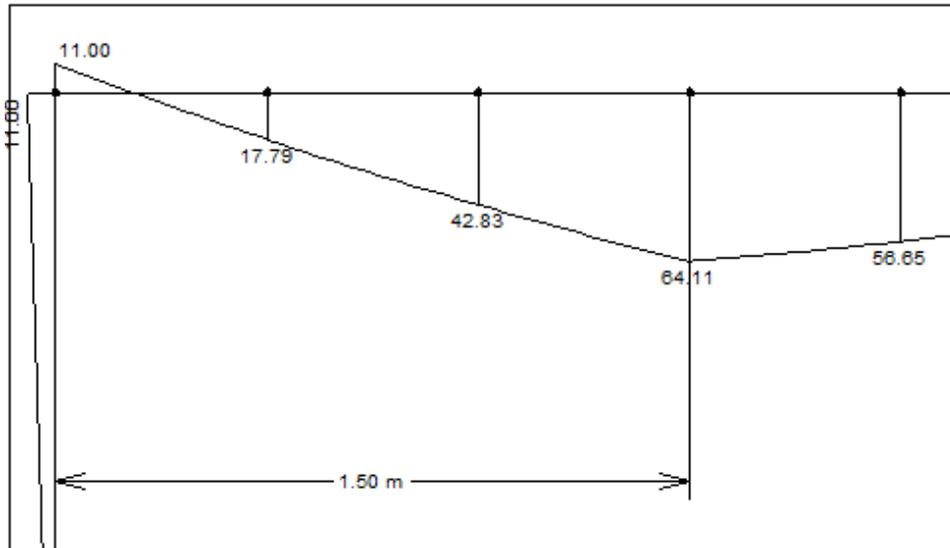
Fonte: Próprio Autor

Figura 19: Carga pontual a 1,5 m do apoio esquerdo



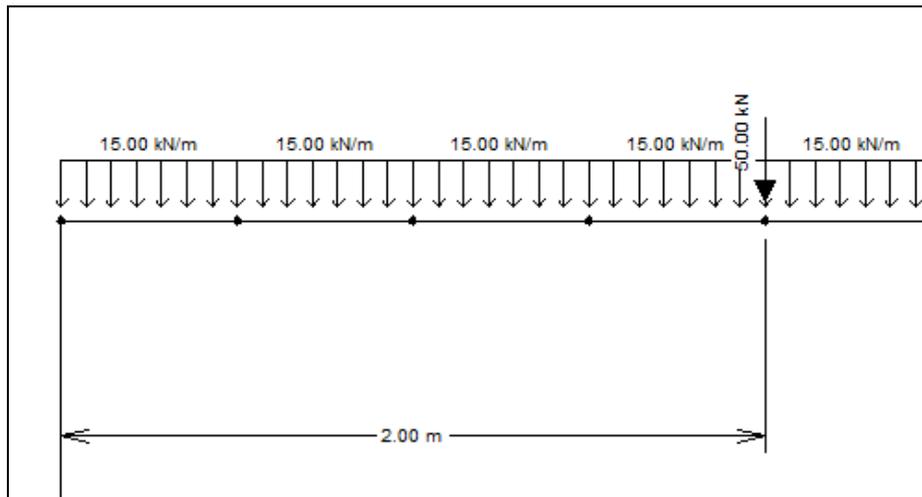
Fonte: Próprio Autor

Figura 20: Momento fletor máximo no valor de 64,11 KNm



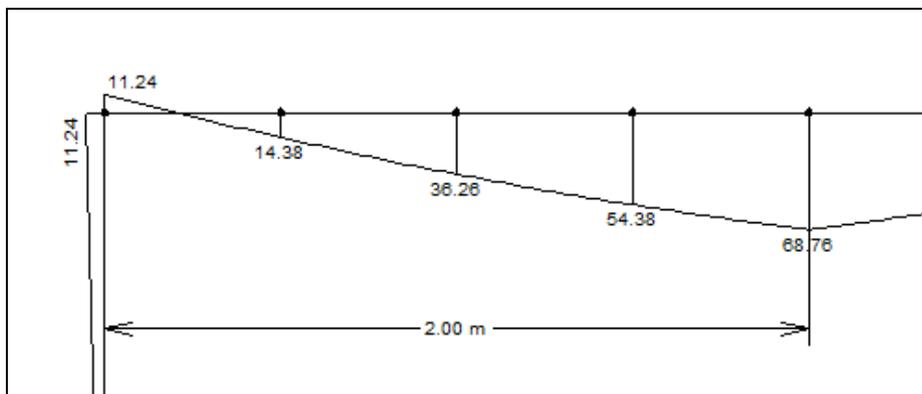
Fonte: Próprio Autor

Figura 21: Carga pontual a 2 m do apoio esquerdo



Fonte: Próprio Autor

Figura 22: Momento fletor máximo no valor de 68,76 KNm



Fonte: Próprio Autor

Figura 23: Tabela de momentos no Excel

| Posição carga P | dist(m) | Máx pos | Máx neg A | Máx neg B | Siglas |
|-----------------|---------|---------|-----------|-----------|--------|
| P0 = APOIO A | 0,0 | 25,00 | 4,96 | 5,04 | M1 |
| P1 | 0,5 | 36,03 | 7,92 | 7,54 | M2 |
| P2 | 1,0 | 50,43 | 9,91 | 9,45 | M3 |
| P3 | 1,5 | 64,11 | 11,00 | 10,70 | M4 |
| P4 | 2,0 | 68,76 | 11,24 | 11,24 | M5 |
| P5 | 2,5 | 64,11 | 10,70 | 11,00 | M6 |
| P6 | 3,0 | 50,43 | 9,45 | 9,91 | M7 |
| P7 | 3,5 | 36,03 | 7,54 | 7,92 | M8 |
| P8 = APOIO B | 4,0 | 25,00 | 5,04 | 4,96 | M9 |

Fonte: Próprio Autor

RESULTADOS DA ARMADURA PARA OS MOMENTOS POSITIVOS:

Tabela 4: Momentos e armaduras positivas no Excel

| MOMENTOS POSITIVOS | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| DADOS: | | | | | | |
| LARG VIGA: | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | cm |
| ALT DA VIGA: | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | cm |
| CG calc ESTIMADO: | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | cm |
| alt. Útil d: | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | cm |
| 0,45d: | 15,75 | 15,75 | 15,75 | 15,75 | 15,75 | cm |
| MK: (VEM DA TABAELA) | 25,00 | 36,03 | 50,43 | 64,11 | 68,76 | KNm |
| MK: | 2.500.000,00 | 3.603.000,00 | 5.043.000,00 | 6.411.000,00 | 6.876.000,00 | N.cm |
| MD: | 35,00 | 50,44 | 70,60 | 89,75 | 96,26 | KNm |
| MD: | 3.500.000,00 | 5.044.200,00 | 7.060.200,00 | 8.975.400,00 | 9.626.400,00 | N.cm |
| FCK CONCRETO: | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | MPA |
| Posição da linha Neutra: | | | | | | |
| x1 = | 83,17 | 81,10 | 78,21 | 75,22 | 74,13 | cm |
| x2 = | 4,33 | 6,40 | 9,29 | 12,28 | 13,37 | cm |
| X/D: | 0,12 | 0,18 | 0,27 | 0,35 | 0,38 | |
| AREA DE AÇO: | | | | | | |
| Fyd = | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | N/cm2 |
| As | 2,42 | 3,58 | 5,19 | 6,86 | 7,47 | cm2 |

Fonte: Próprio Autor

Analisando a Figura 23 e a Tabela 4, podemos perceber que com a variação da carga pontual a cada 0,5m observamos um aumento do momento fletor até chegar ao momento fletor máximo no centro da viga, conseqüentemente a linha neutra sofre variação assim como a área do aço aumenta, à medida que a carga se aproxima do centro da viga. Também observamos que seguindo as normas vigentes, o X/D de todos os casos deu inferior a 0,45, o que corresponde a ser uma viga simplesmente armada.

RESULTADOS DA ARMADURA PARA OS MOMENTOS NEGATIVOS:

Tabela 5: Momentos e armaduras negativas no Excel

| MOMENTOS NEGATIVOS | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|-------|
| DADOS: | | | | | | | | | | | |
| LARG VIGA: | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | cm |
| ALT DA VIGA: | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | cm |
| CG calc ESTIMADO: | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | cm |
| alt. Útil d: | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | cm |
| 0,45d: | 15,75 | 15,75 | 15,75 | 15,75 | 15,75 | 15,75 | 15,75 | 15,75 | 15,75 | 15,75 | cm |
| MK: (VEM DA TABAELA) | 4,96 | 7,92 | 9,91 | 11,00 | 11,24 | 10,70 | 9,45 | 7,54 | 5,04 | 5,04 | KNm |
| MK: | 496.000,00 | 792.000,00 | 991.000,00 | 1.100.000,00 | 1.124.000,00 | 1.070.000,00 | 945.000,00 | 754.000,00 | 504.000,00 | 504.000,00 | N.cm |
| MD: | 6,94 | 11,09 | 13,87 | 15,40 | 15,74 | 14,98 | 13,23 | 10,56 | 7,06 | 7,06 | KNm |
| MD: | 694.400,00 | 1.108.800,00 | 1.387.400,00 | 1.540.000,00 | 1.573.600,00 | 1.498.000,00 | 1.323.000,00 | 1.055.600,00 | 705.600,00 | 705.600,00 | N.cm |
| FCK CONCRETO: | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | MPA |
| Posição da linha Neutra: | | | | | | | | | | | |
| x1 = | 86,68 | 86,18 | 85,84 | 85,65 | 85,61 | 85,70 | 85,91 | 86,24 | 86,66 | 86,66 | cm |
| x2 = | 0,82 | 1,32 | 1,66 | 1,85 | 1,89 | 1,80 | 1,59 | 1,26 | 0,84 | 0,84 | cm |
| X/D: | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | |
| AREA DE AÇO: | | | | | | | | | | | |
| Fyd = | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | 43.478,26 | N/cm2 |
| As | 0,46 | 0,74 | 0,93 | 1,03 | 1,06 | 1,01 | 0,89 | 0,70 | 0,47 | 0,47 | cm2 |

Fonte: Próprio Autor

Analisando a Figura 23 e a Tabela 5, podemos perceber que com a variação da carga pontual a cada 0,5m observamos um aumento do momento fletor negativo até chegarmos ao momento máximo negativo no centro da viga correspondente ao apoio A, conseqüentemente a linha neutra sofre variação assim como a área do aço aumenta à medida que a carga se aproxima do centro da viga. Como a viga é simétrica, os momentos negativos se repetem em ordem inversa no ponto B. Também observamos que seguindo as normas vigentes, o X/D de todos os casos foi inferior a 0,45, o que corresponde a ser uma viga simplesmente armada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos se aplicam ao modelo estudado e mostram todos os cenários possíveis em que a viga sofra por influência das forças, gerando momento fletor máximo positivo e negativo, mostrando as variações da posição da linha neutra e da área do aço.

De acordo com **NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação** podemos calcular o diâmetro da bitola do aço a ser utilizado no nosso estudo e a partir dessa escolha, podemos definir qual a

melhor proteção para a viga independente da situação de esforço a qual ela esteja sofrendo, conforme mostra Tabela 6.

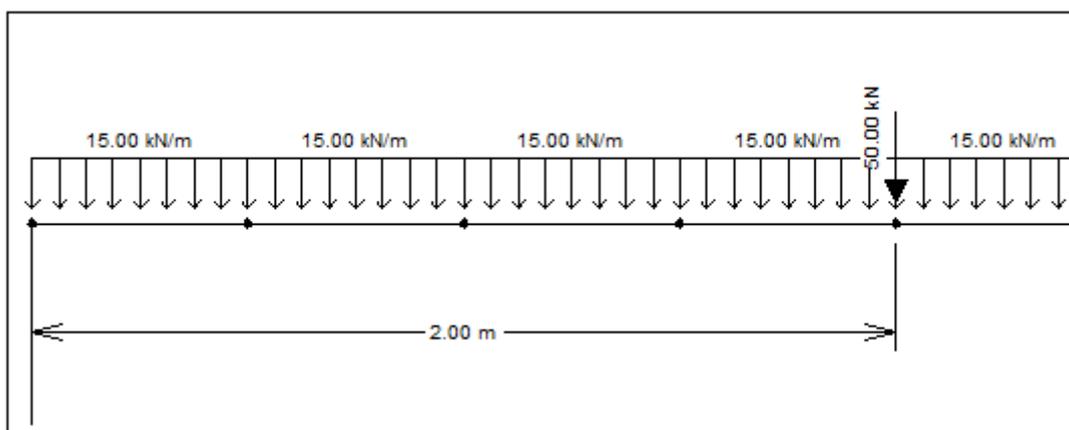
Tabela 6: Área do Aço da Seção conforme número de barras

| Valor nominal para cálculo | | Área de aço da seção conforme número de barras – A_s [cm ²] | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| ϕ 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 | 0,25 | 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: NBR 7480

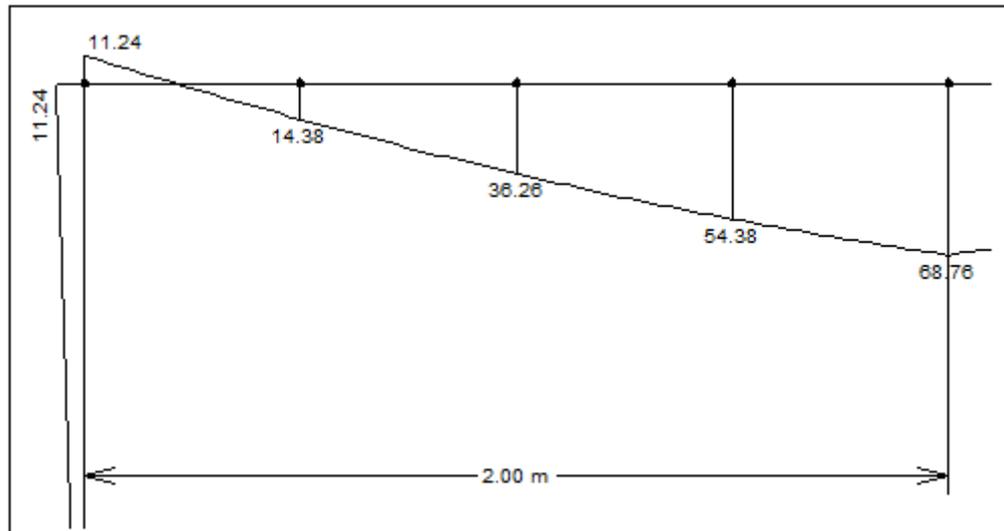
Com os dados obtidos, podemos ver que a situação em que a viga estará mais comprometida será no ponto médio da viga, tendo o maior momento tanto positivo quanto negativo, como mostrado na Figura 24.

Figura 24: Situação mais crítica da viga no Ftool



Fonte: Próprio Autor

Figura 25: Momentos da situação mais crítica no Ftool



Fonte: Próprio Autor

Segundo a NBR 7480 que determinar qual bitola de aço será utilizado, no ponto mais crítico da viga adotaremos as seguintes bitolas para resistir à tração e compressão que a viga sofrerá. Conforme mostrado na Tabela 7, adotaremos essas barras de aço para resistir aos momentos característicos máximos.

Tabela 7: Dimensionamento do Aço a ser utilizado no estudo da viga

| Dimensionamento do Aço utilizado no estudo da viga | | | | |
|--|-------|----------|--------|------------|
| | Maior | Diametro | Bitola | Quantidade |
| Armadura Positiva | 7,47 | 16 mm | 2 | 3,735 |
| Armadura Negativa | 1,06 | 10 mm | 0,8 | 1,325 |

Fonte: Próprio Autor

Sugere-se para trabalhos futuros que haja variação de valores nas cargas e inércia da viga e pilares do pórtico para análise do comportamento dos esforços solicitantes. Os resultados obtidos neste trabalho se aplicam ao modelo e carregamentos apresentados.

REFERÊNCIAS

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Flexão normal simples: vigas Parte II**. Notas de aula. Curso de Engenharia Civil. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2020. Disponível em:<<https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/FlexaoSimples.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

MATTOS, Nilson Cezar. **Dimensionamento de vigas à flexão simples**. Artigo. 2010. Disponível em:<<http://faq.altoqi.com.br/content/268/651/pt-br/dimensionamento-devigas-a-flex%C3%A3o-simples.html>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4 ed. São Carlos: EdUFSCAR, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação**. Rio de Janeiro, 2007.

SCHNEIDER, Nelson. **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/>>. Acesso em: 10 abr. 2021

PEREIRA, Caio. **O que é concreto armado?** 2021. Disponível em:<<https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-armado/>>. Acesso em 17 abr. 2021.

FILHO, Júlio de Mesquita. **Estudo das vigas: Flexão Simples**. 2015. Disponível em:< <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/estudo-das-vigas.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

SCHNEIDER, Nelson. **O Que São Os Estádios do Concreto?** 2019. Disponível em:<<https://nelsoschneider.com.br/o-que-sao-os-estadios-do-concreto/>>. Acesso em 14 mai. 2021.