

**UNI-FACEF (CENTRO UNIVERSITÁRIO MUNICIPAL DE FRANCA)**

**MATHEUS DE CASTRO ANDRADE  
VICTOR DE SOUZA LUCAS  
YURI MARANGONI SGARIONI**

**PROGRAMA LIVRE PARA DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE  
FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO  
ARMADO**

**FRANCA  
2018**

**MATHEUS DE CASTRO ANDRADE  
VICTOR DE SOUZA LUCAS  
YURI MARANGONI SGARIONI**

**PROGRAMA LIVRE PARA DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE  
FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO  
ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Uni-FACEF (Centro  
Universitário Municipal de Franca) para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Ms. Anderson Fabricio  
Mendes

**FRANCA  
2018**

**MATHEUS DE CASTRO ANDRADE  
VICTOR DE SOUZA LUCAS  
YURI MARANGONI SGARIONI**

**PROGRAMA LIVRE PARA DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE  
FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO  
ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Uni-FACEF (Centro  
Universitário Municipal de Franca) para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil.

Franca, 18 de setembro de 2018.

Orientador: \_\_\_\_\_

Nome: Prof. Ms. Anderson Fabrício Mendes

Instituição: Uni-FACEF (Centro Universitário Municipal de Franca)

Examinador (a): \_\_\_\_\_

Nome: Prof. Luís Fernando Facioli Rosa

Instituição: Uni-FACEF (Centro Universitário Municipal de Franca)

Examinador (a): \_\_\_\_\_

Nome: Dr. Thales Jati Gilberto

Instituição: Uni-FACEF (Centro Universitário Municipal de Franca)

## **AGRADECIMENTOS**

### Agradeço

Primeiramente à Deus e à Virgem Maria, pela oportunidade da realização desse curso e conseqüentemente deste trabalho;

Agradeço a minha família, principalmente meus pais e irmãos, que tanto amo e que estiveram comigo, me apoiando e incentivando durante essa jornada, além de me ensinarem os valores que tanto prezo;

Agradeço à Isabela, por ter sido essencial nessa etapa, por ter me ajudado em todo esse tempo de formação acadêmica e pessoal;

Agradeço aos amigos da primeira turma de Engenharia Civil da Uni-FACEF;

Agradeço imensamente ao orientador e a todos os professores, que foram extremamente fundamentais para minha formação, auxiliando na futura carreira que irei exercer;

Agradeço a colaboração do Leonardo Lucas e da Zerun, por contribuir com a programação do software, dando todo auxílio para o funcionamento do software.

Enfim, a todos que me auxiliaram e contribuíram, direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado. Matheus Andrade.

## Agradeço

Primeiramente à Deus e à Virgem Maria, pela oportunidade da realização desse curso e conseqüentemente deste trabalho;

Agradeço a minha família, principalmente meus pais e irmãos, que tanto amo e que estiveram comigo, me apoiando e incentivando durante essa jornada, além de me ensinarem os valores que tanto prezo;

Agradeço aos amigos da primeira turma de Engenharia Civil da Uni-FACEF;

Agradeço imensamente ao orientador e a todos os professores, que foram extremamente fundamentais para minha formação, auxiliando na futura carreira que irei exercer;

Agradeço a Zerun, especialmente Leonardo Lucas, por contribuir com a programação do software, dando todo auxílio para o funcionamento do software.

Enfim, a todos que me auxiliaram e contribuíram, direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado. Victor Lucas

## Agradeço

Primeiramente à Deus e à Virgem Maria, pela oportunidade da realização desse curso e conseqüentemente deste trabalho;

Agradeço a minha família, principalmente meus pais e irmãos, que tanto amo e que estiveram comigo, me apoiando e incentivando durante essa jornada, além de me ensinarem os valores que tanto prezo;

Agradeço aos amigos da primeira turma de Engenharia Civil da Uni-FACEF;

Agradeço imensamente ao orientador e a todos os professores, que foram extremamente fundamentais para minha formação, auxiliando na futura carreira que irei exercer;

Agradeço a Zerun, especialmente Leonardo Lucas, por contribuir com a programação do software, dando todo auxílio para o funcionamento do software.

Enfim, a todos que me auxiliaram e contribuíram, direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado. Yuri Marangoni.

## RESUMO

Com o desenvolvimento tecnológico no setor da engenharia civil e a grande competitividade no mercado atual, os profissionais da área de estruturas devem, além de possuir um conhecimento teórico sólido sobre dimensionamento dos elementos estruturais em concreto armado, elaborar e executarem seus projetos no menor tempo possível, conciliando qualidade, segurança e conforto aos usuários das edificações. Nesse sentido, este trabalho tem como principal objetivo desenvolver um software computacional livre, de acordo com a NBR 6118:2014 e a teoria proposta por Carvalho e Figueiredo (2014), para o dimensionamento da armadura longitudinal de flexão de vigas de seções retangulares em concreto armado, apresentando fácil manuseio para discente e docentes de cursos de graduação em engenharia civil, e que possibilite aos usuários verificar resultados, testar hipóteses, escolher armadura e apresentar as deformações e o domínio que a peça está trabalhando. Devido ao carácter qualitativo desta pesquisa, optou-se pelas metodologias de Pesquisa Bibliográfica e Estudo de Caso para alcançar os objetivos propostos e responder as questões de pesquisa deste trabalho. O resultado final obtido foi a elaboração de um software que possibilita o dimensionamento da armadura de flexão de seções retangulares em concreto armado, atendendo os objetivos propostos neste trabalho.

**Palavras chaves:** Software; Dimensionamento de vigas; Concreto armado.

## **ABSTRACT**

Following the technological development throughout civil engineering and the huge competitiveness in current market, an specialist in structure must, besides to have a solid theoretical knowledge about sizing of structural elements in reinforced concrete, to elaborate and execute his/her projects in a short amount of time, conciliating quality, security and comfort to all the people who will use the edifications. In this way, this work has the objective to develop a computational free software, in regard to Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) and to the theory proposed by Carvalho e Figueiredo (2014) in order to size longitudinal reinforced concrete flexibility of beams of rectangular sections, presenting easy handling to students and professors around civil engineering major. It also must enable users to verify results, test hypothesis, chose the reinforcement and to present deformations and the domain of the working part. Following the qualitative aspect of this research, we opted to bibliographical review and Case Study in order to achieve the objectives proposed and to answer the research`s question.

**Keywords:** Software; Beams sizing; Reinforced concrete.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS .....	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA.....	13
1.3 METODOLOGIA.....	13
1.3.1 Pesquisa bibliográfica.....	13
1.3.2 O estudo de caso .....	14
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO .....	14
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1 CONCRETO.....	15
2.1.1 Resistência característica do concreto à compressão.....	16
2.1.2 Resistência do concreto à tração .....	18
2.1.3 Durabilidade das estruturas de concreto .....	20
2.1.4 Diagramas tensão deformação do concreto.....	23
2.2 AÇO .....	25
2.2.1 Diagramas tensão deformação do aço.....	26
2.3 CONCRETO ARMADO .....	29
2.4 ESTADOS LIMITES .....	30
2.4.1 Estados Limites Últimos (ELU).....	30
2.4.2 Estados Limites de Serviço (ELS) .....	31
2.5 AÇÕES.....	31
2.5.1 Ações permanentes ( $f_g$ ) .....	31
2.5.2 Ações variáveis ( $f_q$ ).....	32
2.5.3 Ações excepcionais.....	32
2.6 ESTÁDIOS DE DIMENSIONAMENTO.....	32

2.6.1 Estádio I .....	32
2.6.2 Estádio II .....	33
2.6.3 Estádio III .....	34
<b>3. DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS DE FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>36</b>
3.1 NOMENCLATURA .....	36
3.2 HIPÓTESES DE CÁLCULO .....	37
3.3 DOMÍNIOS DE DIMENSIONAMENTO.....	37
3.4 EQUAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FLEXÃO.....	39
3.4.1 Equações adimensionais.....	41
3.4.2 Armaduras mínimas e máximas: .....	43
3.4.2.1 Armadura mínima .....	43
3.4.2.2 Armadura máxima .....	44
<b>4. ESTUDO DE CASOS: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
4.1 ESTUDO DE CASO 1 .....	45
4.2 ESTUDO DE CASO 2 .....	47
4.3 ESTUDO DE CASO 3 .....	50
4.4 ESTUDO DE CASO 4 .....	54
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>73</b>

## INTRODUÇÃO

Concordamos com Kimura (2007) que o desenvolvimento que vem ocorrendo no Brasil referente ao setor da construção civil faz com que os profissionais desse ramo estejam cada vez mais preparados para o mercado, cada vez mais competitivo e exigindo profissionais que elaborem e executem projetos no menor tempo possível, conciliando a qualidade, segurança e conforto aos clientes e usuários da edificação.

Dentre os diversos projetos que devem ser elaborados para a construção de uma edificação, tais como projeto arquitetônico, elétrico, hidráulico, estudos de impacto da vizinhança, Bastos (2011) aponta que o projeto estrutural, que é formado por um sistema estrutural cuja finalidade é suportar os carregamentos que atuam sobre a estrutura, conduzindo de forma segura e esteticamente confortável, para o solo. O sistema estrutural mais utilizado atualmente contém como elementos principais: pilares, vigas e lajes.

Nesse sentido, Mariano (2015) aponta que devido aos grandes avanços tecnológicos no setor da engenharia civil e à grande competitividade no mercado atual, cada vez mais aumenta a procura de programas computacionais para a elaboração de projetos estruturais de concreto armado de forma rápida e eficiente.

Os softwares, segundo Sommerville (2012) auxiliam os profissionais da área de cálculo estrutural, pois além de possibilitar testes de hipóteses e verificações rápidas dos elementos, a elaboração e criação do projeto passa por diversas fases, desde a concepção até a impressão das pranchas finais, o projeto pode ser alterado várias vezes, seja por mudanças na arquitetura, diminuição de custos, erros de execução, levando a novos cálculos e análises, que se feitas manualmente aumentaria custos e o tempo de execução da obra, além de estar mais propensos a erros.

Atualmente, como afirmam Carvalho, Figueiredo e Furlan (2000), a utilização de recursos computacionais pelos escritórios de cálculo estrutural já são uma prática universal e, dificilmente, existe uma empresa que não utilize programas para realização de seus trabalhos. Nesse sentido, os autores dissertam da dificuldade que as construtoras vêm enfrentando em encontrar profissionais com

capacidade, pois de um lado, temos os mais experientes, que possuem conhecimento teórico mas uma possível dificuldade de se adaptar aos novos tempos, pois demoram para usar os softwares de maneira eficiente e, por outro lado, os novos engenheiros, que possuem facilidade de utilizar as novas tecnologias, mas não possuem um conhecimento sólido para analisar os resultados fornecido pelos programas.

Em vista dos argumentos apresentados acima, entender o funcionamento de um software de cálculo estrutural e a teoria por trás do dimensionamento dos elementos, é fundamental para que o profissional o utilize com segurança e produtividade, adotando critérios normativos e pessoais, explorando, assim, todos os recursos e vantagens que o programa proporciona.

Com isso, este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um software para o dimensionamento da armadura longitudinal de vigas de seções retangulares em concreto armado, fornecendo aos profissionais da engenharia a fundamentação teórica, trabalhos de Carvalho e Figueiredo (2014) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014).

## 1.1 OBJETIVOS

Desenvolver um software computacional livre para o dimensionamento da armadura de flexão de vigas de seções retangulares em concreto armado. O software possibilitará ao usuário verificar resultados, testar hipóteses, escolher armadura e apresentará, em forma de desenho, o detalhamento da viga.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho serão:

- Desenvolver um programa computacional de fácil manuseio para discentes e docentes de cursos de graduação e pós-graduação que permita o dimensionamento da armadura longitudinal de vigas em concreto armado, com rapidez e precisão, fornecendo aos seus usuários, condições de analisar os resultados e escolher as soluções que trazem o melhor custo benefício à estrutura;

- Apresentar um referencial teórico sobre os conceitos fundamentais do dimensionamento de estruturas em concreto armado.

## 1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

As questões que nortearão este trabalho serão:

- É possível desenvolver um software livre para o dimensionamento da armadura longitudinal de vigas de seções retangulares que possa fornecer aos usuários condições de analisar resultados obtidos pelo cálculo manual, testar hipóteses e verificar resultados de projetos estruturais?;
- É possível utilizar o software como ferramenta de ensino na disciplina de concreto armado dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Civil?

## 1.3 METODOLOGIA

Devido ao carácter qualitativo desta pesquisa, optou-se pelas metodologias de Pesquisa Bibliográfica e Estudo de Caso para alcançar os objetivos propostos e responder as questões de pesquisa deste trabalho.

### 1.3.1 Pesquisa bibliográfica

Segundo Gil (2008), a pesquisa bibliográfica é elaborada com base em um material já existente, composto em sua maior parte de livros e artigos científicos. Ainda que em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho desta natureza, existem pesquisas feitas puramente a partir de fontes bibliográficas.

De acordo com Marconi e Lakatos (2003 apud Manzo (1971)), a pesquisa bibliografia oferece meios para definir e resolver problemas conhecidos e não é apenas repetição do que já foi dito ou escrito a respeito de determinado assunto, mas assegura o exame de um tema sob nova abordagem, chegando a conclusões inovadoras.

Nesse sentido, este trabalho fará uma revisão bibliográfica sobre o tema: dimensionamento da armadura de flexão de vigas de seções retangulares em concreto armado, sob flexão simples.

### 1.3.2 O estudo de caso

A metodologia de pesquisa denominada Estudo de Caso, segundo Yin (2001), trata-se de uma abordagem de investigação adequada quando procuramos compreender, explorar ou descrever acontecimentos e contextos complexos, nos quais estão simultaneamente envolvidos diversos fatores.

De acordo com Yin (2001), os objetivos do Estudo de Caso são:

- Compreender o evento em estudo e ao mesmo tempo desenvolver teorias mais genéricas a respeito do fenômeno observado;
- Descrever fatos ou situações, proporcionando conhecimento acerca do fenômeno estudado e comprovar ou contrastar relações evidenciadas no caso;
- Explorar, descrever, explicar, avaliar e/ou transformar determinado tema científico.

## 1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos:

No capítulo dois, apresentamos uma revisão bibliográfica sobre os conceitos e propriedades do concreto armado, as características físicas e mecânicas dos materiais que o compõe e os critérios normativos que devem ser respeitados para o dimensionamento de elementos em concreto armado.

No capítulo três, apresentamos a teoria relacionada ao dimensionamento de vigas de seções retangulares em concreto armado, suas hipóteses de cálculo e expressões matemáticas que permitem a determinação das armaduras necessárias para o equilíbrio da seção.

No capítulo quatro, apresentamos o software desenvolvido, suas peculiaridades e especificidades, juntamente com a análise de três estudos de caso.

No último capítulo, apresentam-se as conclusões acerca deste trabalho e colocam-se as sugestões de continuidade do mesmo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresentamos uma revisão bibliográfica sobre os conceitos e propriedades do concreto armado, as características físicas e mecânicas dos materiais que o compõe, concreto e aço e os critérios normativos que devem ser respeitados para o dimensionamento de elementos em concreto armado.

### 2.1 CONCRETO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) no item 3.1.2 define que o concreto simples estrutural é o elemento que não possui qualquer tipo de armadura, ou que possui armadura em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado.

Segundo Bastos (2011), Leonhardt e Mönig (1982), Carvalho e Figueiredo Filho (2014), o concreto é formado pelos seguintes elementos: cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita).

De acordo com Bastos (2011) e Carvalho e Figueiredo Filho (2014), o concreto é um material com boa resistência à compressão, porém pouco resistente à tração, cerca de 10% de sua resistência à compressão.

Nesse sentido, Pinheiro (2007) aponta que a característica mais relevante do concreto é a sua resistência à compressão, denominada  $f_c$ , sendo o valor obtido por meio de resultados de ensaios rápidos de compressão simples sobre corpos de prova normalizados. Os corpos de prova são moldados seguindo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008) e rompidos como estabelece a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007a).

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2014), independentemente do tipo de ensaio ou de solicitação, vários fatores influenciam a resistência do concreto, dos quais os principais são:

- a idade do concreto;
- a relação entre as quantidades de cimento, agregados e água;

Segundo Bastos (2011), o ensaio para determinação da resistência à compressão é feito numa prensa, seguindo os processos especificados na Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007a), normalmente com a idade de 28

dias a partir da concretagem e retirada do corpo de prova, conforme a figura 1 abaixo:

**Figura 1** - Rompimento de corpo de prova para determinação da resistência a compressão.



Fonte: (DALLABRIDA; VEIGAS, 2014, p. 41).

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) afirmam que a resistência à compressão pode ser expressa pela equação 1:

$$f_{cj} = \frac{N_{rup}}{A} \quad (1)$$

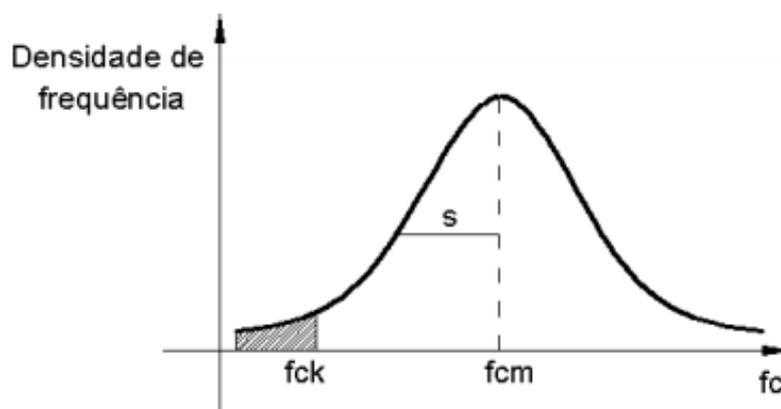
Onde:

- $f_{cj}$  é resistência à compressão do corpo de prova de concreto na idade  $j$  dias;
- $N_{rup}$  – carga de ruptura do corpo de prova;
- $A$  – área da seção transversal do corpo de prova.

### 2.1.1 Resistência característica do concreto à compressão

Pinheiro (2007) afirma que para obter a resistência característica do concreto à compressão do concreto,  $f_{ck}$ , deve levar em conta uma medida estatística a partir da curva de Gauss, obtida com os resultados dos ensaios de vários corpos de prova. O gráfico pode ser feito com os valores da resistência à compressão ( $f_c$ ) versus a quantidade de corpos de prova relativos a determinado valor de  $f_c$  (figura 2).

**Figura 2** - Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão



Fonte: Pinheiro (2007), p. 2.2.

Pinheiro (2007) expõe ainda que no gráfico encontra-se também, além da resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ), a resistência média do concreto à compressão ( $f_{cm}$ ), e esse valor de  $f_{cm}$  é utilizado na determinação da  $f_{ck}$ , por meio da equação 2:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2)$$

O item 12.2 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) define  $f_{ck}$ :

A resistência característica inferior é admitida como sendo o valor que tem apenas 5% de probabilidade de não ser atingido pelos elementos de um dado lote de material.

A partir dessa resistência característica ( $f_{ck}$ ) a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) define as classes para concretos, em conformidade com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011b), conforme o Quadro 1 abaixo:.

**Quadro 1** - Classes de resistências de concretos estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistencia característica à compressão (Mpa)	Classe de resistência Grupo II	Resistencia 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	-	-
C50	50	-	-

**Fonte:** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011, P. 29).

O item 4.2 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011) indica que os concretos de resistência inferior a C20 não são estruturais, devendo respeitar o desempenho exigido nas Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) e Associação Brasileira De Normas Técnicas (2015).

### 2.1.2 Resistência do concreto à tração

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) comentam sobre a baixa resistência do concreto à tração. No entanto, essa resistência deve ser levada em conta e conhecida pelo fato da peça sofrer esforços solicitantes que a deformam e a tencionam, prejudicando sua capacidade de receber esses esforços.

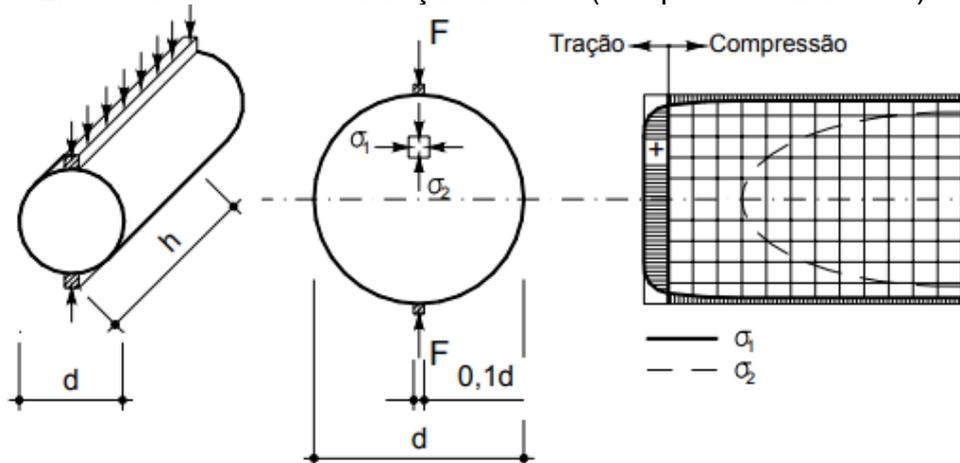
Bastos (2011) diz que esse conhecimento é fundamental na determinação da fissuração, no dimensionamento das vigas à força cortante e na resistência de aderência entre o concreto e a barra de aço.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) em seu item 8.2.5, três tipos de ensaios para obter a resistência à tração: por flexão ( $f_{ct,f}$ ), tração indireta ( $f_{ct,sp}$ ) e tração direta ( $f_{ct}$ ). Os dois primeiros ensaios devem ser realizados segundo as Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011a), respectivamente.

De acordo com Bastos (2011), o ensaio de resistência à tração indireta está prescrito na ABNT 7222:2011 e foi desenvolvido por F. L. Lobo Carneiro, na década de 50, sendo conhecido mundialmente por *Brasilian test* ou *splitting test*, e é determinado pela equação 3:

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi dh} \quad (3)$$

**Figura 3** - Ensaio de resistência à tração indireta (compressão diametral)



Fonte: (GIONGO, 2007, p. 48).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), no item 8.2.5 permite estimar a resistência à tração direta como 0,9 de  $f_{ct,sp}$  ou 0,7 de  $f_{ct,f}$ . Ainda de acordo com o item 8.2.5, na falta de ensaios para determinação de  $f_{ct,sp}$  e  $f_{ct,f}$ , pode ser avaliado o seu valor médio ou característico por meio das equações 4 a 7:

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} \quad (4)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m} \quad (5)$$

- Para concretos de classe até C50:

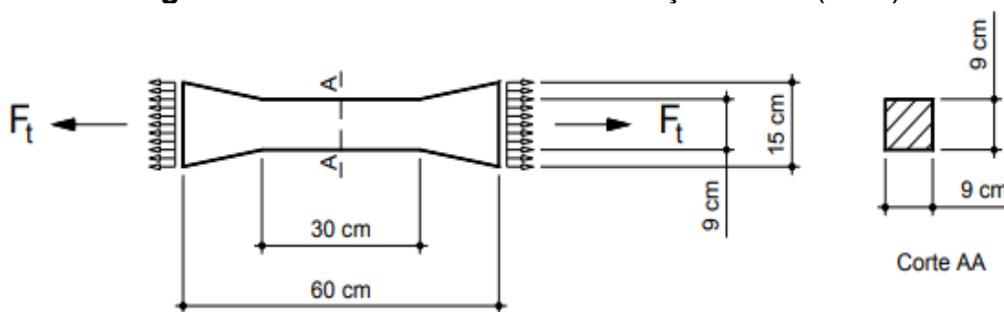
$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad (6)$$

- Para concretos de classes C55 até C90:

$$f_{ct,m} = 2,12 \ln (1 + 0,11 f_{ck}) \quad (7)$$

onde  $f_{ct,m}$  e  $f_{ck}$  são expressos em megapascals (MPa).

No item 8.2.5 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), admite quando  $f_{ckj} \geq 7$  MPa, as equações 6 e 7 podem ser usadas para concretos com idade diferentes de 28 dias.

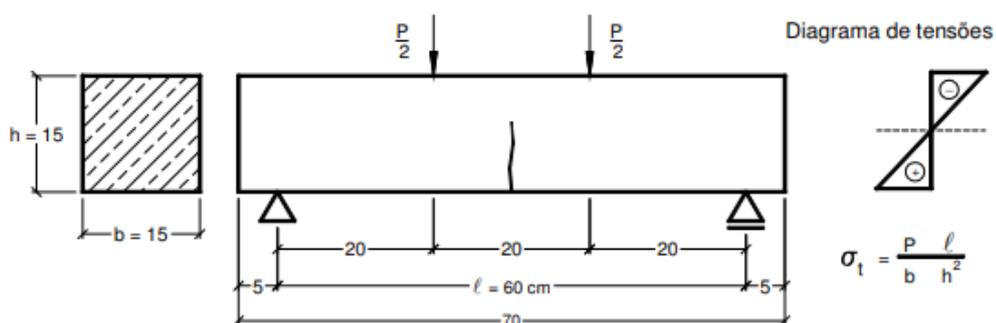
**Figura 4 - Ensaio de resistência à tração direta (axial)**

Fonte: (GIONGO, 2007, p. 47)

O ensaio de resistência à tração na flexão está demonstrado na figura 5, e conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010) determina, o qual é realizado submetendo a viga a um ensaio de flexão simples. De acordo com Bastos (2011), o ensaio consiste em submeter a viga a duas forças centradas iguais, aplicadas no terço do vão, e a resistência do concreto à tração é encontrada quando, a partir dessas forças aplicadas, a tensão de tração atuante na viga provoca uma fissura, geralmente posicionada no meio das forças aplicadas, acontecendo a ruptura da peça.

A resistência à tração na flexão, de acordo com Giongo (2007), também é conhecida como módulo de ruptura, e pode ser determinada pela equação 8:

$$f_{ct,f} = \frac{Pl}{bh^2} \quad (8)$$

**Figura 5 - Ensaio de resistência à tração na flexão**

Fonte: (BASTOS, 2011, p. 62).

### 2.1.3 Durabilidade das estruturas de concreto

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), no item 6, esclarece as diretrizes a serem seguidas pelos projetistas no que diz respeito a garantia da durabilidade das estruturas de concreto armado, com o objetivo de

preservar e conservar a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo estabelecido de vida útil da estrutura.

A definição de vida útil da estrutura é, de acordo como o item 6.2.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), o período de duração da estrutura sem alterações de sua característica, sem interferências significativas, desde que as exigências de projeto, execução e uso tenham sido atendidas.

Para se garantir a vida útil da estrutura e sua durabilidade, Carvalho e Figueiredo Filho (2014) apontam que a agressividade do meio ambiente é um dos principais fatores a serem considerados em projeto, pois as causas das perdas da qualidade e durabilidade da estrutura está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre a mesma.

Nesse sentido, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), em seu item 6.4, define quatro classes de agressividade ambiental, conforme o quadro 2 abaixo.

**Quadro 2 - 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	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1</sup> <sup>2</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1</sup>	Grande
		Industrial <sup>1</sup> <sup>2</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1</sup> <sup>3</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>1</sup> 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).

<sup>2</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média do ar menor ou igual a 65 %, partes da estruturas protegidas de chuvas em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>3</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

**Fonte:** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Definida a classe de agressividade do ambiente onde encontra-se a estrutura, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) determinar os

cobrimentos mínimos para proteção das armaduras e a qualidade do concreto, conforme aponta a n, no item 7.4:

[...] a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura.

Ensaio comprobatório de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se que sejam adotados os requisitos mínimos expressos na tabela 7.1 desta norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 18).

O quadro 3 abaixo indica a relação entre CAA do projeto e a resistência mínima do concreto à compressão e a sua relação água/cimento

**Quadro 3** - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto <sup>1</sup>	Tipo <sup>2</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
<sup>1</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. <sup>2</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.					

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 18).

O quadro 4 abaixo indica a relação entre CAA do projeto e os cobrimentos mínimos a serem adotados em projeto para a proteção da armadura.

**Quadro 4 - Correspondência entre a CAA e o cobrimento nominal para  $\Delta c=10\text{mm}$**

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>1</sup>
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje <sup>2</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>3</sup>	30		40	50

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais e secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, com 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  $\geq 15$  mm.

<sup>3</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

**Fonte:** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, P. 28).

#### 2.1.4 Diagramas tensão deformação do concreto

Foi observado por Caram Júnior (2000) que uma das características mais importantes dos materiais no estado sólido é a capacidade dos mesmos em resistir ou transmitir tensões. A resposta desses materiais está intimamente relacionada com a propriedade do material em se deformar elasticamente ou plasticamente. Quando um material é submetido a esforços mecânicos, ele deforma-se de duas maneiras: elasticamente e plasticamente.

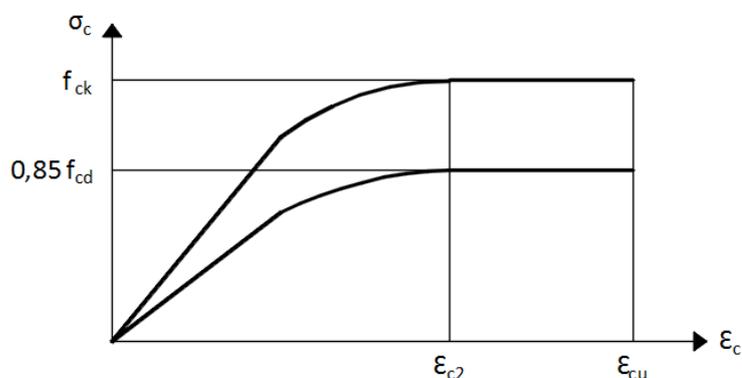
Segundo Caram Júnior (2000), a deformação elástica, ocorre quando o material deformado retorna ao seu formato original, após a retirada da carga que o deformou, enquanto que na deformação plástica, não há retorno. Portanto, a maioria dos materiais passa pelo comportamento elástico, antes de atingir uma deformação plástica (irreversível).

Os diagramas tensão-deformação são utilizados para avaliar a capacidade de deformação dos materiais, pois eles mostram as relações entre tensões ( $\sigma$ ) e deformações ( $\varepsilon$ ) dos materiais. Na compressão, são obtidos por ensaios de corpos de prova à compressão centrada e apresentam uma parte curva e outra sensivelmente retilínea. Na tração, são empregados diagramas bi-lineares.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) em seu item 8.2.10.1 traz o diagrama tensão deformação idealizado na compressão do concreto

que podem ser empregados para análises do dimensionamento das peças no estado limite último (ELU), conforme figura 6 abaixo.

**Figura 6** - Diagrama tensão-deformação idealizado (Figura 8.2 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014))



**Fonte:** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 26).

Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2014) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), em seu item 8.2.10.1, a relação entre tensão e deformação é dada pela expressão 9, que representa o trecho parabólico da curva inferior da figura 6. A expressão que representa a curva superior é obtida substituindo-se na expressão 9 o termo  $0,85 \cdot f_{cd}$  por  $f_{ck}$ .

$$\sigma = 0,85 \cdot f_{cd} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad (9)$$

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), em seu item 8.2.10.1, apontam os valores de  $\varepsilon_{c2}$ , deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico, e  $\varepsilon_{cu}$  deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura, cujos valores são:

- Para concretos de classes até C50:

$$\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰};$$

$$\varepsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}$$

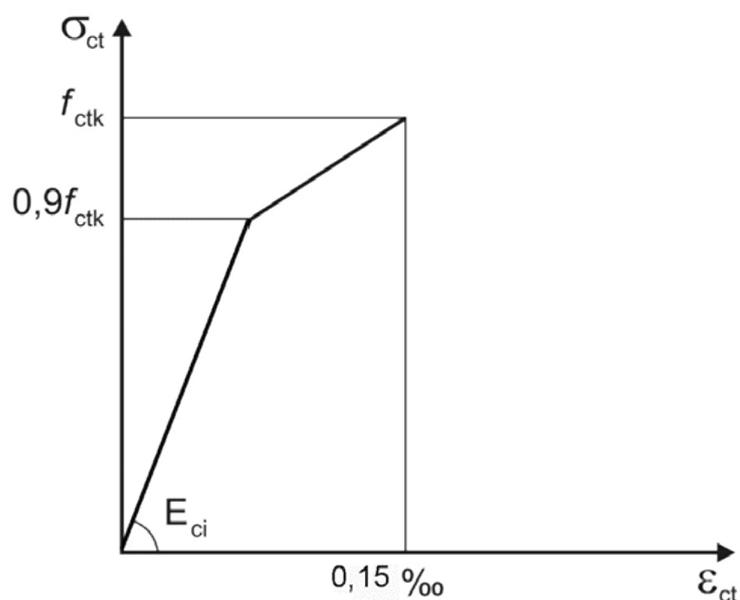
- Para concretos de classes C55 até C90:

$$\varepsilon_{c2} = 2,0\text{‰} + 0,085\text{‰} \cdot (f_{ck} - 50)^{0,53} \quad (10)$$

$$\varepsilon_{cu} = 2,6\text{‰} + 35\text{‰} \cdot \left[ \frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad (11)$$

O diagrama tensão deformação do concreto na tração, é abordado no item 8.2.10.2 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), conforme a figura 7 abaixo:

**Figura 7** - Diagrama tensão-deformação na tração (Figura 8.3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014))



**Fonte:** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 27)

## 2.2 AÇO

As barras e fios de aço designado às armaduras de estrutura concreto armado são normalizados e definidos, de acordo com os tipos, suas características, fabricação e outros itens, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007b).

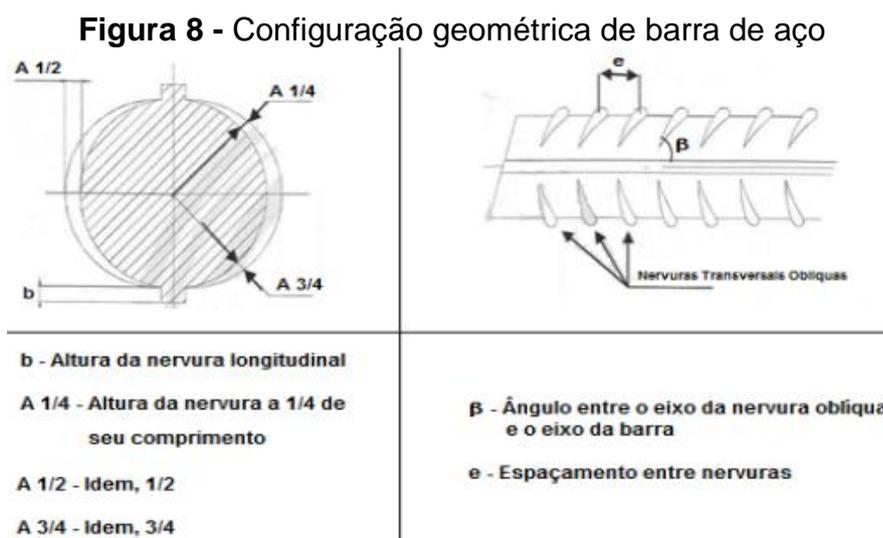
Muito se confunde na prática a diferença entre aço e ferro. O aço é uma liga de ferro e carbono em sua composição, e a principal diferença é o teor de carbono. Portanto, como as barras e fios destinados a armaduras para concreto armado (CA25, CA50 e CA60) possuem em sua composição o teor de carbono de 0,08% até 0,50%.

A forma correta e técnica de se denominar é aço, segundo Carvalho e Figueiredo (2014) embora usualmente se utilize o termo ferro.

Madureira (2013) afirma que CA 50 é a abreviatura do termo Concreto Armado seguido de sua resistência de escoamento mínima em giga pascal .

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007b) define que todo material em barras, casos dos CA25 e CA50, deve ser obrigatoriamente fabricado por laminação a quente, diâmetro nominal igual ou superior a 6,3mm, e que todos os fios, característicos do CA60, devem ser fabricados por trefilação ou processo

análogo, como estiramento ou laminação a frio e ter espessura igual ou inferior a 10mm. As barras da categoria CA50 deve ter em suas superfícies, obrigatoriamente, nervuras transversais oblíquas para promover assim a aderência necessária com a massa de concreto envolvente. Os fios podem apresentar superfícies lisas, nervuradas ou entalhadas, sendo obrigatoriamente os fios de 10mm serem entalhados ou nervurados.



**Fonte:** (MADUREIRA, 2013, p. 26).

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2014) as principais características mecânicas do aço são obtidas por meio de ensaios de tração, obtendo as resistências características de escoamento ( $f_{yk}$ ), limite de resistência e alongamento na ruptura.

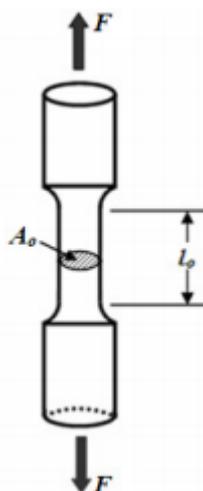
A máxima tensão que uma barra ou fio suporta, como aponta Carvalho e Figueiredo Filho (2014), é conhecida como resistência característica de escoamento do aço à tração ( $f_{yk}$ ), e define o limite de deformação que o aço pode sofrer para não entrar no estado de deformação permanente, mantendo assim sua qualidade e capacidade de suporte.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) a massa específica do aço é de 7.850 kg/m<sup>3</sup>, cerca de três vezes a massa específica do concreto e o módulo de elasticidade é de 210 GPa, valores que podem ser adotados pelo projetista na ausência de ensaios ou valores fornecidos pelo fabricante.

### 2.2.1 Diagramas tensão deformação do aço

Para a determinação do diagrama de tensão-deformação do aço, o ensaio mais utilizado é o de tração, que de acordo com Garcia, Spim e Santos (2000) consiste na aplicação de carga de tração uniaxial às extremidades do corpo, conforme a figura 9 abaixo:

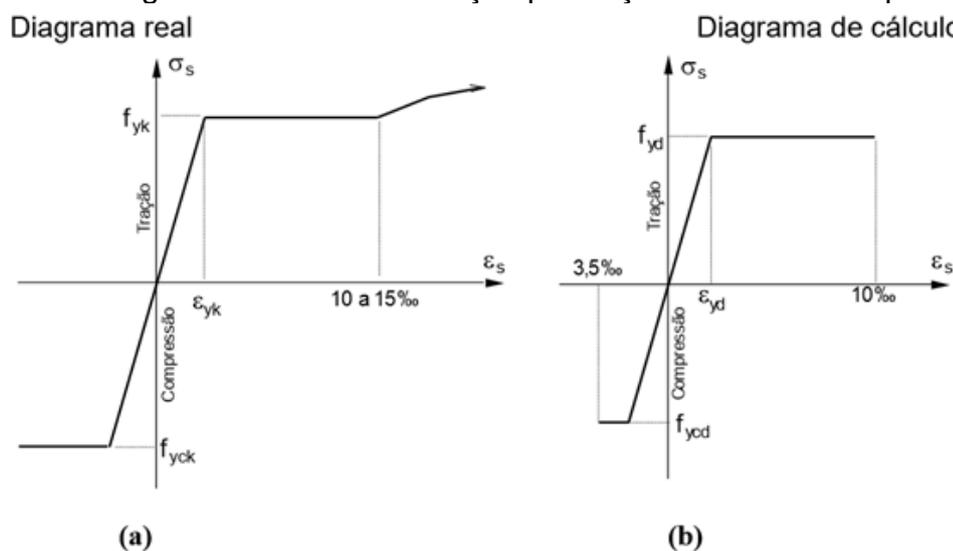
**Figura 9** - Desenho esquemático de um corpo de prova submetido à carga de tração



**Fonte:** (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2000, p.171).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), item 8.3.6, indica que para a obtenção do diagrama tensão-deformação do aço e os valores característicos da resistência ao escoamento  $f_{yk}$ , da resistência à tração e da deformação na ruptura, devem ser realizados ensaios de tração segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015) - e indica que nos casos onde o aço não apresenta patamar de escoamento o valor de  $f_{yk}$  é o mesmo da tensão correspondente à deformação permanente, ou seja, pode-se adotar  $f_{yk}$  igual a 0,2%.

A figura 10 traz o diagrama tensão deformação real do aço e o simplificado, que segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) pode ser utilizado para cálculo e dimensionamento dos elementos estruturais em concreto armado nos estados-limite de serviço e último.

**Figura 10** - Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras passivas

Fonte: (BASTOS, 2011, p. 81).

As características e diâmetros nominais das barras e dos fios de aço são especificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007b). O quadro 5 demonstra essas características.

**Quadro 5** - Características dos aços comercializados no Brasil

Barras (mm)	Massa (Kg/m)	Área (cm <sup>2</sup> )
6,3	0,245	0,31
8,0	0,395	0,50
10,0	0,617	0,78
12,5	0,963	1,23
16,0	1,578	2,01
20,0	2,466	3,14
22,0	2,984	3,80
25,0	3,853	4,91
32,0	6,313	8,04
40,0	9,865	12,56

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007b).

## 2.3 CONCRETO ARMADO

Segundo o item 3.1.3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural necessita da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

Leonhardt e Monning (1982) dissertam que concreto armado é um material de construção composto, no qual a ligação entre o concreto e a armadura de aço é devida à aderência do cimento e a efeitos de natureza mecânica.

Para a sua utilização em vigas, Carvalho e Figueiredo Filho (2014) afirmam que é necessário associar o concreto a um material que possua boa resistência à tração e seja mais deformável, sendo mais comum o aço, que deve ser então distribuído longitudinalmente na região tracionada da peça.

De acordo com Pinheiro (2007) o concreto armado é a união do concreto simples com uma armadura, geralmente constituída por barras de aço. Os dois materiais devem resistir solidariamente aos esforços solicitantes. Essa solidariedade é garantida pela aderência.

De acordo com Bastos (2011), para que o concreto armado se comporte como um material estrutural, não basta apenas juntar o concreto e o aço. Deve haver entre eles o fenômeno da aderência, que é essencial e deve impreterivelmente existir. O trabalho entre os dois materiais deve ocorrer de forma compartilhada, isto é, devem resistir às tensões de forma conjunta.

Carvalho e Figueiredo (2014), Pinheiro (2007), Bastos (2011) e Leonhardt e Monning (1982) apontam que o concreto armado apresenta diversas vantagens, dentre elas destacamos as seguintes:

- Boa resistência à maioria das solicitações;
- Boa trabalhabilidade, adaptando-se a várias formas;
- Permite obter estruturas monolíticas;
- Processos construtivos conhecidos e bem difundidos em quase todo o país;
- Facilidade na execução;
- É um material durável, desde que seja bem executado;
- Durabilidade e resistência ao fogo superior aos outros tipos de estrutura;

- Resistente a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.

Os autores também afirmam que o concreto apresenta algumas desvantagens, que precisam ser analisadas, dentre elas podemos citar algumas:

- Baixa resistência à tração;
- Peso próprio elevado;
- Reformas e adaptações são, muitas vezes, de difícil execução;
- É bom condutor de calor e som, prejudicando o conforto térmico e acústico;
- São necessários sistemas de fôrmas e escoramentos para modelagem;
- Fissuração necessita ser controlada;

## 2.4 ESTADOS LIMITES

Segundo Pinheiro (2007), as estruturas de concreto armado devem ser projetadas de modo que apresentem bastante segurança, sendo que a mesma está condicionada à verificação dos estados limites, que são situações em que a estrutura apresenta desempenho inadequado à finalidade da construção, ou seja, são estados em que a estrutura não pode ser usada. Os estados limites podem ser: últimos ou de *serviço*. Contudo a segurança pode ser diferenciada com relação à capacidade de carga e à capacidade de utilização da estrutura.

### 2.4.1 Estados Limites Últimos (ELU)

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2014), o ELU corresponde à máxima capacidade que uma estrutura pode ter. Ou seja, com uma simples ocorrência pode paralisar, tudo ou parte do uso da construção, conforme os exemplos a saber:

- a) Perda de equilíbrio como corpo rígido: tombamento, escorregamento ou levantamento;
- b) Resistência ultrapassada: ruptura do concreto;
- c) Escoamento excessivo da armadura:  $\epsilon_s > 1,0\%$ ;
- d) Aderência ultrapassada: escorregamento da barra;
- e) Transformação em mecanismo: estrutura hipostática;

- f) Flambagem;
- g) Instabilidade dinâmica – ressonância;
- h) Fadiga – cargas repetitivas.

#### 2.4.2 Estados Limites de Serviço (ELS)

De acordo com Pinheiro (2007), o ELS corresponde a condições precárias em serviço, podendo causar repetição ou duração nas estruturas que não respeitam condição especificada para seu uso normal da construção ou que caracterizam indícios que comprometem a durabilidade, tais como:

- a) Danos estruturais que comprometem a estética ou a durabilidade da estrutura – fissuras;
- b) Deformações excessivas que afetem a utilização normal da construção ou o seu aspecto estético – flechas;
- c) Vibrações causando desconforto à moradores ou danos a equipamentos.

### 2.5 AÇÕES

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014), dão-se o nome de ações qualquer influência, ou seu conjunto, com capacidade de produzir deformações em uma estrutura, este assunto é tratado minoritariamente na Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) no capítulo 11, item 11:2, levando em conta os possíveis estados limites últimos e de serviço. Classificam-se em permanentes, variáveis e excepcionais conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003).

#### 2.5.1 Ações permanentes ( $f_g$ )

São as que crescem no tempo, tendendo a um valor limite, praticamente constantes durante toda a vida da construção, tudo de acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), item 11.3. São divididas em diretas e indiretas:

Enquanto que as ações permanentes diretas são caracterizadas pelo peso próprio da estrutura, fornecido pelos pesos dos materiais descritos na Associação Brasileira de Normas Técnicas (1980) e das instalações permanentes,

por outro lado, as ações permanentes indiretas são constituídas pelas deformações impostas por retração, deslocamento de apoios, imperfeições geométricas e fluência do concreto.

### 2.5.2 Ações variáveis ( $f_q$ )

As ações variáveis são classificadas como diretas e indiretas, enquanto que a primeira é formada pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, descritas na ABNT NBR 6120:1980, a segunda é causada por variações uniformes e não uniformes de temperatura e por ações dinâmicas, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014).

### 2.5.3 Ações excepcionais

Quanto às ações excepcionais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), no item 11.5, prescreve:

No projeto de estruturas sujeitas a situações excepcionais de carregamento, cujos efeitos não possam ser controlados por outros meios, devem ser considerados ações excepcionais com valores definidos, em cada caso particular, por Normas Brasileiras específicas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 28)

## 2.6 ESTÁDIOS DE DIMENSIONAMENTO

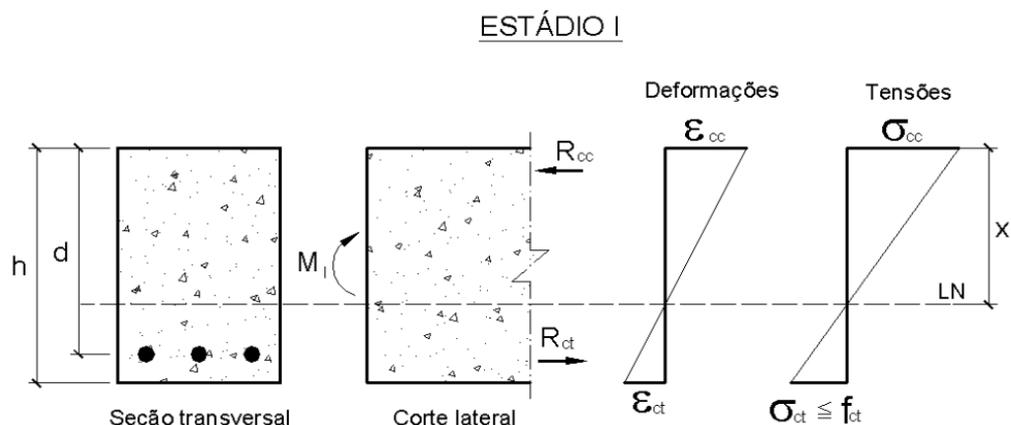
De acordo com Pinheiro (2007), Estádios é o nome que se dá às fases pelas quais passa a seção de concreto ao longo da aplicação de um carregamento, que se inicia em zero e vai até a ruptura. Distinguindo em três níveis de deformação, denominados: Estádio I, Estádio II e Estádio III.

### 2.6.1 Estádio I

De acordo com Pinheiro (2007), este estágio representa o início da aplicação do carregamento. O nível de tensões ainda é baixo e não excede a resistência característica à tração do concreto. Não é a situação ideal, pois a zona comprimida está inativa e se a seção fosse dimensionada neste estágio a parte estrutural possuiria uma força e tamanho elevados.

Conforme a figura 11, o diagrama de tensão normal em relação a deformação ao longo da seção é linear.

**Figura 11 - Estádio I**



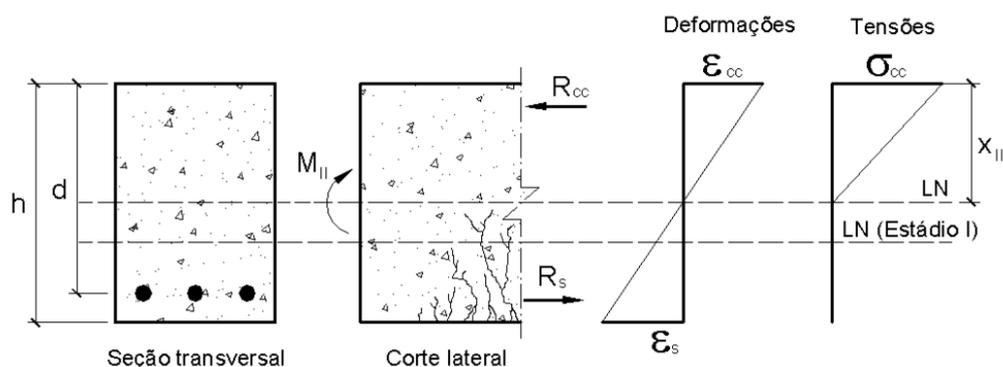
**Fonte:** (PINHEIRO, 2007, p. 50).

Segundo Pinheiro (2007), é no estágio I que é realizado o cálculo do momento de fissuração, que distingue o estágio I do estágio II. Sabendo o momento de fissuração, é possível calcular a armadura mínima, de modo que esta seja capaz de absorver, com adequada segurança, as tensões causadas por um momento fletor de mesma de intensidade.

### 2.6.2 Estádio II

No estágio II, conforme Carvalho e Figueiredo Filho (204), as tensões de tração na região abaixo da linha neutra (LN) terão valores maiores do que a resistência característica do concreto à tração. Devido a isto a seção se encontra fissurada na região de tração pois não resiste a tais esforços, passando assim a considerar que apenas o aço passa a resistir aos esforços solicitantes. Porém, a região comprimida ainda apresenta um diagrama linear de tensões, conforme figura 12.

**Figura 12 - Estádio II**  
ESTÁDIO II



**Fonte:** (PINHEIRO, 2007, p. 51).

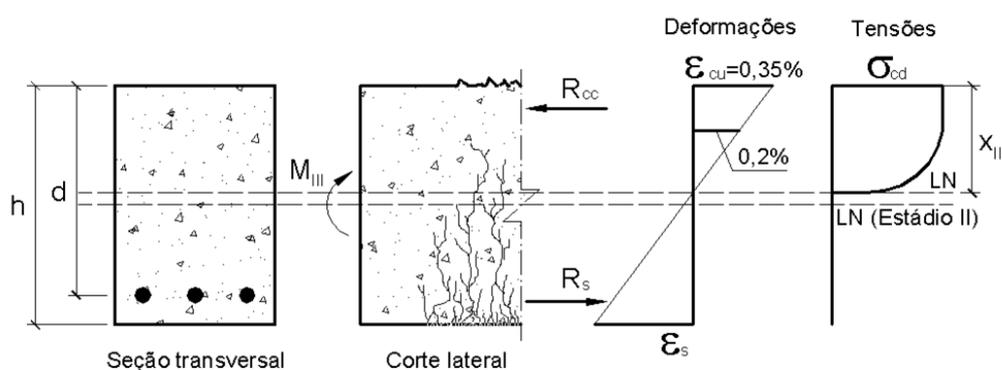
Aumentando o valor do carregamento, conforme expressado por Pinheiro (2007), as fissuras caminham no sentido da região comprimida, a linha neutra também e a tensão na armadura aumentam, podendo atingir o escoamento ou não. O estágio II tem seu término com o início da plastificação do concreto comprimido.

### 2.6.3 Estádio III

Neste estágio o carregamento atinge o limite de resistência do concreto, o que faz a peça chegar à iminência da ruína. A mesma se encontra bastante fissurada e a zona comprimida do concreto está em estado de deformação plastificada. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), é admitido que a distribuição de tensões no concreto ocorra de forma parábolo-retângulo, também chamado de diagrama parábola-retângulo, expressado na figura 13.

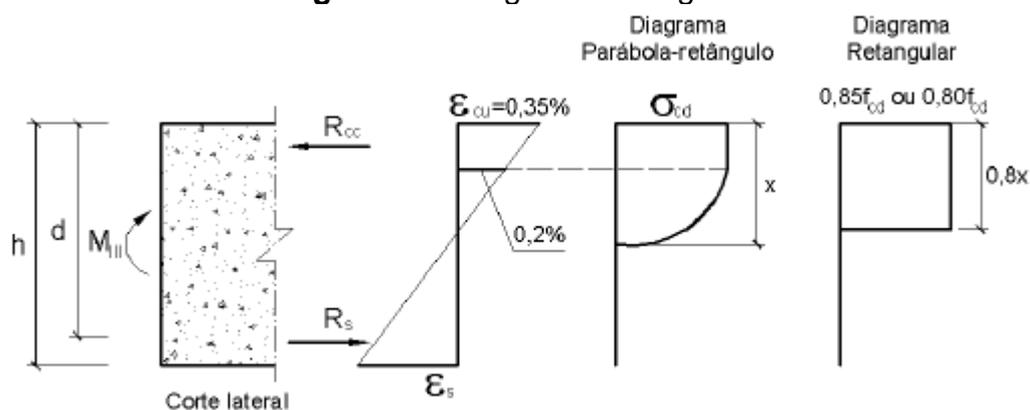
**Figura 13 - Estádio III**

ESTÁDIO III



Fonte: (PINHEIRO, 2007, p. 52).

Pinheiro (2007) afirma que a Norma Brasileira permite, para efeito de cálculo, que se trabalhe com um diagrama retangular equivalente (figura 14). A resultante de compressão e o braço em relação à linha neutra devem ser aproximadamente os mesmos para os dois diagramas.

**Figura 14 - Diagrama retangular**

Fonte: (PINHEIRO, 2007, p. 52).

Os estádios I e II representam as situações de serviço e o estágio III o estado limite último, que só ocorre em situações extremas.

Para Carvalho e Figueiredo Filho (2014), o cálculo de dimensionamento de estruturas de concreto armado será feito no ELU (estádio III), pois as estruturas devem resistir aos esforços solicitantes sem que ocorra a ruína e de forma econômica.

### 3. DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS DE FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO

Neste capítulo apresentamos a teoria e dedução das equações para o dimensionamento das armaduras de flexão de vigas em concreto armado de seções retangulares sob flexão simples.

#### 3.1 NOMENCLATURA

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) segue abaixo definido as nomenclaturas das grandezas que envolvem o cálculo possibilitando o melhor entendimento e o dimensionamento das peças de concreto armado, respeitada a maioria das normas internacionais.

- $d$  – **Altura útil**: distância do centro de gravidade até a fibra de concreto comprimida;
- $d'$  – **Distância** entre o centro de gravidade da armadura comprimida e a face mais próxima da estrutura;
- $M_{sd}$  – **Momento fletor solicitante de cálculo** na seção( na continuação será chamado apenas de  $M_d$ ): no dimensionamento, quando há um só tipo de carga acidental, é obtido multiplicando o momento atuante pelo coeficiente de ponderação  $\gamma_f = 1,4$ ;
- $b_w$  – **Largura** da seção transversal de vigas de seção retangular;
- $h$  – **Altura total** da seção transversal de uma peça;
- $z$  – **Braço de alavanca**: distância entre o centro de gravidade da armadura de tração e o centro de gravidade da região comprimida do concreto;
- $x$  – **Altura (Profundidade da Linha Neutra)** : distância da linha neutra ao ponto de maior encurtamento da seção transversal de uma peça fletida;
- $y$  – **Altura da linha neutra convencional**: altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto, na seção transversal de peças fletidas, é uma idealização que simplifica o equacionamento do problema e conduz a resultados próximos daqueles que seriam obtidos com o diagrama parábola-retângulo ( $y=0,8x$ ).

### 3.2 HIPÓTESES DE CÁLCULO

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), item 17.2.2 e Carvalho e Figueiredo (2014) , as hipóteses de cálculo referentes às estruturas em concreto armado sujeitos a solicitações normais são :

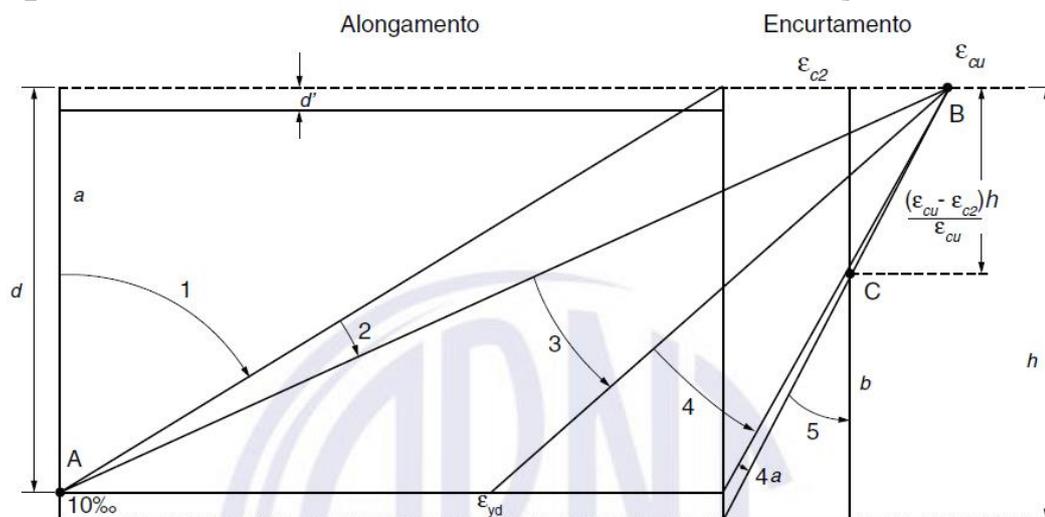
- 1) As seções transversais permanecem planas;
- 2) Aderência perfeita entre o aço e o concreto, ou seja, a deformação num determinado ponto de uma barra da armadura é igual à do concreto neste ponto;
- 3) Encurtamento de ruptura do concreto
  - Concretos até classe C50;
  - $\varepsilon_c = 3,5\%$  em seções não inteiramente comprimidas (domínios 3, 4 e 4a);
  - $\varepsilon_c \ 2\% < \varepsilon_{cC} < 3,5\%$  na borda mais comprimida em seções inteiramente comprimidas (domínio 5);
  - $\varepsilon_c = 2\%$  na compressão uniforme;
- 4) Alongamento máximo da armadura
  - $\varepsilon_c = 10\%$  (domínios 1 e 2);
- 5) Distribuição das tensões no concreto e no aço de acordo com os respectivos diagramas tensão-deformação apresentados no capítulo anterior.

### 3.3 DOMÍNIOS DE DIMENSIONAMENTO

Carvalho e Figueiredo (2014), Bastos (2011) e Pinheiro (2007) dissertam que de acordo com a posição da linha neutra na seção definimos os domínios de deformação, que são variáveis dependentes das deformações no concreto e no aço.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), em seu item 17.2.2.2 traz a figura 15 abaixo, onde podemos analisar os diferentes domínios de estado limite último de uma seção.

**Figura 15 - Domínios de estado-limite último de uma seção transversal**



Fonte : (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, P. 122).

Os domínios 1 e 2 definem uma ruptura convencional por deformação plástica excessiva da armadura. A reta “a” também faz parte desse tipo de ruptura e é caracterizada por tração uniforme. Segundo a ABNT NBR 6118:2014, domínio 1 é caracterizado por uma tração não uniforme, sem compressão e o domínio 2 por uma flexão simples ou composta sem ruptura à compressão do concreto.

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), dos domínios 3 ao 5 demonstram-se uma ruptura convencional pelo encurtamento-limite do concreto. O domínio 3 é caracterizado pela flexão simples ou composta com ruptura à compressão do concreto e com o escoamento do aço; o domínio 4 pela flexão simples ou composta com ruptura do concreto sem escoamento do aço (ainda que este esteja tracionado); o domínio 4a pela flexão composta com armaduras comprimidas; o domínio 5 pela compressão não uniforme, sem tração e, para este tipo de ruptura convencional, a reta “b” que caracteriza uma compressão uniforme na seção.

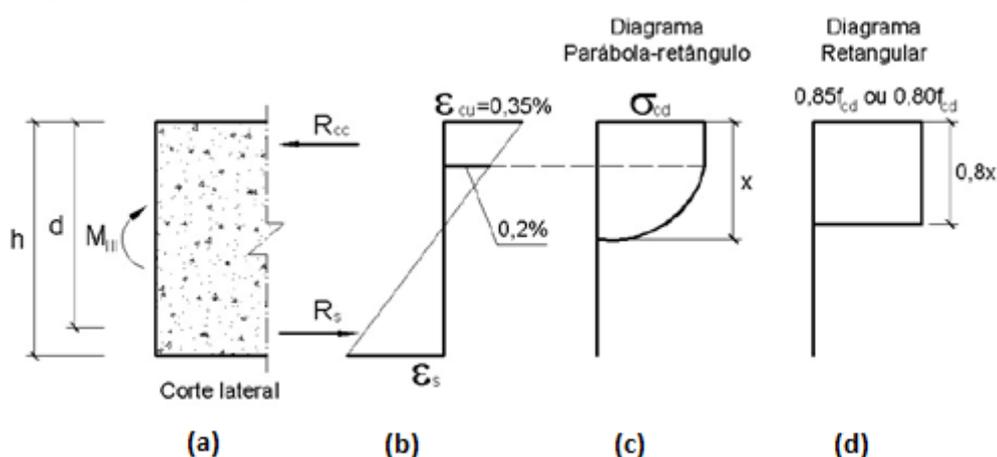
Logo, conclui-se que os domínios 2, 3 e 4 são possíveis para a peça atingir o estado limite último na flexão simples, que está sendo considerada. No início do domínio 2 tem-se  $\varepsilon_c = 0$ , e no final do domínio 4 tem-se  $\varepsilon_s = 0$ , caracterizando as piores situações que podem ocorrer, pois um dos materiais não auxilia na resistência. A situação ideal é que a peça trabalhe no domínio 3 e o domínio 2 é aceitável; segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) parte do domínio 3 e o domínio 4 devem ser evitados, utilizando-se um artifício chamado de armadura dupla para levar a peça do domínio 4 para o 3.

### 3.4 EQUAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FLEXÃO

O dimensionamento das peças em concreto armado é feito no Estado Limite Ultimo, que de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), deve-se majorar as ações solicitantes por um coeficiente de segurança ( $\gamma_f = 1,4$ ) e minorar as resistências do concreto ( $\gamma_c = 1,4$ ) e do aço ( $\gamma_s = 1,15$ ).

A norma Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) traz como hipótese básicos para cálculo que permite para distribuições de tensões no concreto, em classe C50 utilizar o diagrama parábola-retângulo da figura 12c, com base no diagrama tensão-deformação simplificado do concreto (figura16). Com tensão máxima de  $0,85.f_{cd}$ , permitindo-se também adotar a altura da parábola-retângulo  $0,8.x$ , onde  $x$  é a profundidade da linha neutra.

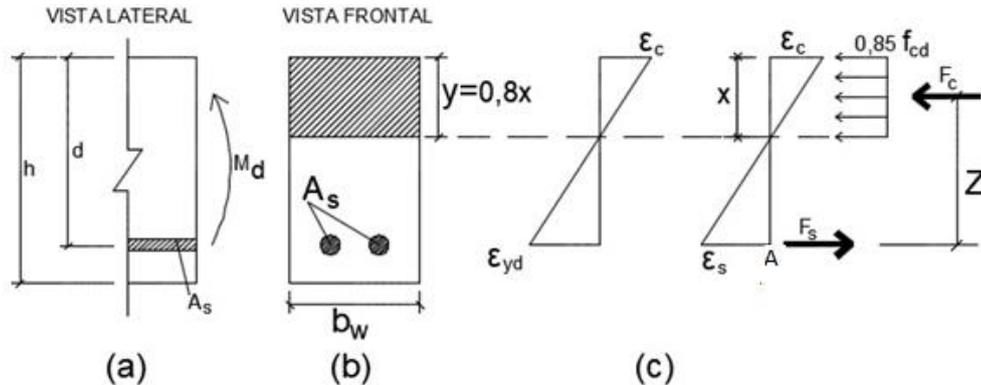
**Figura 16** - Diagrama de tensão no concreto no estado limite ultimo



**Fonte:** Adaptado de Carvalho e Figueiredo Filho (2014, p.126).

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) propõem que o equacionamento deve ser feito através do equilíbrio de forças atuantes na seção transversal, de acordo com a figura 17. Lembrando que o momento de cálculo  $M_d$  é o momento atuante  $M$  majorado pelo coeficiente de ponderação 1,4.

**Figura 17 - Diagrama de tensões no concreto no estado limite último para concretos de classe C50**



**Fonte:** adaptado de Carvalho e Figueiredo Filho (2014, p. 117).

Para o equilíbrio da seção, devemos o somatório das forças horizontais (10) e somatório dos momentos em relação ao ponto A (11) devem ser nulos, com isso devemos ter:

- Somatório das forças horizontais igual a zero:

$$\sum F_H = 0$$

Logo:

$$F_s = F_c \quad (12)$$

- Somatório de momentos em relação ao ponto A igual a zero:

$$\begin{aligned} \sum M_a &= 0 \\ M_d - F_c \cdot z &= 0 \\ M_d &= F_c \cdot z \quad (13) \end{aligned}$$

Como  $F_s = F_c$ , temos que :

$$M_d = F_s \cdot z \quad (14)$$

Da resistência dos materiais temos que:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_c} \rightarrow F_c = \sigma_c \cdot A_c \quad (15)$$

De acordo com NBR, a tensão de compressão no concreto não deve ser superior a 85% da resistência de cálculo à compressão do concreto, ou seja:

$$\sigma_c \leq 0,85 f_{cd}$$

Como a área da seção que está comprimida é dada por  $A_c = b_w \cdot y$ , onde  $y = 0,8 \cdot x$ , temos que a força resultante  $F_c$  que atua no concreto é dada por:

$$F_c = (0,85 \cdot f_{cd}) \cdot (b_w) \cdot (0,8 \cdot x) \quad (16)$$

O braço de alavanca  $z$ , é dado por:

$$z = d - 0,4 \cdot x \quad (17)$$

Com isso determinamos a equação que fornece o momento solicitante de cálculo  $M_d$ .

$$M_d = F_c \cdot z$$

$$M_d = (0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,8 \cdot x) \cdot (d - 0,4 \cdot x) \quad (18)$$

$$M_d = b_w \cdot f_{cd} \cdot 0,68 \cdot x \cdot (d - 0,4 \cdot x) \quad (19)$$

Dividindo os dois membros da equação acima por  $b_w \cdot f_{cd}$  e efetuando as devidas simplificações matemáticas, obtém-se a seguinte equação do 2º grau:

$$0,272 \cdot x^2 - (0,68 \cdot d)x + \frac{M_d}{b_w \cdot f_{cd}} = 0 \quad (20)$$

Com resolução da equação acima determinamos a posição  $x$  da linha neutra na seção, a saber :

$$x = \frac{0,68 \cdot d \pm \sqrt{(0,68 \cdot d)^2 - 4 \cdot 0,272 \cdot \left(\frac{M_d}{b_w \cdot f_{cd}}\right)}}{0,544} \quad (21)$$

Como  $M_d = F_s \cdot z$ , temos que  $F_s = \frac{M_d}{z}$ , com isso :

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_s}$$

$$A_s = \frac{F_s}{\sigma_s}$$

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot \sigma_s}$$

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot \sigma_s} \quad (22)$$

Finalmente, a área de aço  $A_s$  necessária para o equilíbrio da seção pode ser obtida pela seguinte expressão :

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{yd}} \quad (23)$$

Onde:

- $z = d - 0,4 \cdot x$
- $\sigma_s = f_{yd}$
- $M_d$  é o momento solicitante.

### 3.4.1 Equações adimensionais

Carvalho e Figueiredo Filho (2016) propõem que se trabalhe com fórmulas adimensionais derivadas das equações acima, para que o cálculo das

estruturas fique mais ágil e facilite o emprego de diversos sistemas de unidade. Na forma adimensional, para concretos até a classe C50.

As equações adimensionais são obtidas pela seguinte sequência: as equações ficam:

- 1) Dividindo a equação  $M_d = b_w \cdot f_{cd} \cdot 0,68 \cdot x \cdot (d - 0,4 \cdot x)$  por  $M_d$  por " $b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}$ " encontra-se:

$$\frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{(0,68 \cdot x \cdot d - 0,272 \cdot x^2) \cdot b_w \cdot f_{cd}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad (24)$$

- 2) Nomeando  $\frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = KMD$  e  $\frac{x}{d} = KX$ , obtemos:

$$KMD = \frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0,68 \cdot (KX) - 0,272 \cdot (KX)^2 \quad (25)$$

A equação anterior possui apenas termos adimensionais, e  $KX$  só pode variar entre 0 e 1. Onde  $x=0$  se dá no início do domínio 2 ( $KX = x/d = 0 \rightarrow KMD = 0$ ) e  $x=d$  se dá no fim do domínio 4 ( $KX = x/d = 1 \rightarrow KMD = 0,408$ ). Mas conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), o valor máximo admitido para  $x/d$  é igual a 0,45, limitando o  $KMD$  a 0,2509.

- 3) Dividindo a expressão  $z = d - 0,4 \cdot x$  por  $d$ , obtemos:

$$\frac{z}{d} = \frac{d - 0,4 \cdot x}{d}$$

$$\frac{z}{d} = 1 - 0,4 \cdot \frac{x}{d} \quad (26)$$

- 4) Nomeando  $\frac{z}{d} = KZ$  e lembrando que  $KX = \frac{x}{d}$ , da equação anterior tem-se:

$$KZ = 1 - 0,4 \cdot KX \quad (27)$$

Como

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{yd}}$$

- 5) Como  $A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{yd}}$  e  $z = (KZ) \cdot d$ , temos que:

$$A_s = \frac{M_d}{(KZ) \cdot d \cdot f_s} \quad (28)$$

- 6) Equação que relaciona as deformações com a altura da linha neutra é:

$$KX = \frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c = \varepsilon_s} \quad (29)$$

É sempre importante ressaltar que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) limita o valor de  $\frac{x}{d}$  ou  $KZ$  para 0,45 para concretos de resistência até 50 MPA.

### 3.4.2 Armaduras mínimas e máximas:

As quantidades de armadura mínima e máxima da seção devem ser antevistas. Já a armadura máxima, Carvalho e Figueiredo Filho (2014) afirmam que decorre da necessidade de proporcionar condições de ductilidade e respeitar o campo de validade dos ensaios que deram origem às prescrições de funcionamento do concreto armado.

#### 3.4.2.1 Armadura mínima

A norma Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) traz em seu item 17.3.5.2.1 que a armadura mínima de tração, em elementos estruturais armados ou protendidos deve ser determinada pelo dimensionamento da seção a um momento fletor mínimo dado pela expressão a seguir, respeitada a taxa mínima absoluta de 0,15 %:

$$M_{d,min} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,sup} \quad (30)$$

Onde:

- $W_0$  é o módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada;
- $f_{ctk,sup}$  é a resistência característica superior do concreto à tração;
- $f_{ctk,sup} = 1,3f_{ct,m}$  (item 8.2.5 da norma)

$$\text{Com } f_{ct,m} = 0,3 \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (\text{Mpa}) \quad (31)$$

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) trazem que o dimensionamento para  $M_{d,min}$  será considerado se forem respeitadas as taxas mínimas de armadura ( $\rho_{min}$ ) do quadro 6 (17.3 da norma), onde  $A_c$  é a área bruta da seção de concreto:

**Quadro 6 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas**

Forma da seção	Valores de $\rho_{\min}^a$ ( $A_{s,\min}/A_c$ ) %														
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256

<sup>a</sup> Os valores de  $\rho_{\min}$  estabelecidos nesta Tabela pressupõem o uso de aço CA-50,  $d/h = 0,8$  e  $\gamma_c = 1,4$  e  $\gamma_s = 1,15$ . Caso esses fatores sejam diferentes,  $\rho_{\min}$  deve ser recalculado.

**Fonte:** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

### 3.4.2.2 Armadura máxima

O item 17.3.5.2.4 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) especifica que a soma das armaduras de tração e de compressão ( $A_s + A_s'$ ) não pode ter valor maior que 4 % da área da seção transversal bruta de concreto  $A_c$ , calculada na região fora da zona de emendas. Podendo ser expresso na equação a seguir:

$$A_s + A_s' \leq \frac{4}{100} A_c \quad (32)$$

## 4. ESTUDO DE CASOS: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentaremos quatro estudos de caso sobre dimensionamento da armadura de flexão de vigas em concreto armado de seções retangulares, com objetivo de comparar os resultados obtidos pelo cálculo manual e os obtidos pelo programa desenvolvido. No anexo A deste trabalho tem-se um manual de utilização do programa, onde detalha-se todas as ferramentas que o programa possui e a forma de manipulá-lo.

### 4.1 ESTUDO DE CASO 1

O estudo de caso 1 será um exemplo proposto por Carvalho e Figueiredo (2014), páginas 130 e 131, onde deve-se determinar a área de aço necessária para uma viga de seção retangular em concreto armado com os seguintes dados.

Dados:

- $M_k = 12.2 \text{ KN.m}$
- $b_w = 12 \text{ cm}$
- $f_{ck} = 20 \text{ Mpa};$
- aço CA50
- $d = 29 \text{ cm}$

Note que neste exemplo não foi informado à altura da viga e a Classe de agressividade ambiental, sendo assim, adotaremos CAA II e a altura da viga 35cm.

Segue abaixo, nas figuras 18 e 19, os dados de entrada no software e os resultados obtidos respectivamente:

**Figura 18 - Dados de entrada no software**

Uni-FACEF  
CENTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO EM ENGENHARIA DE FUNDAMENTOS DE PROJETO

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO

2 APOIOS      3 APOIOS      4 APOIOS

A B

$m_1$

Dados fornecidos pelo usuário

$m_1$  12.2  $KN.m$      $y_f$  1.4    Agressividade II

$b_w$  0.12  $m$      $h$  0.35  $m$     Cobrimento 3  $cm$      $d$  0.29  $m$

Tipo de aço CA 50     $y_s$  1.15     $f_{ck}$  20  $Mpa$      $y_c$  1.4

CALCULAR

$b_w$      $d$      $h$

Fonte: dados da pesquisa.

**Figura 19 - Resultados obtidos pelo software**

A B

$m_1$

2 N Ø 10mm

$A_s$  1.465  $cm^2$      $A_{s.min}$  0.6299999999999999  $cm^2$      $A_{s.real}$  1.58  $cm^2$

KMD 0.1185    KX 0.1884    KZ 0.9246     $x$  0.0546423

$\epsilon_s$  10 ‰     $\epsilon_c$  2.32167 ‰

Ø Barra 10

Aviso Domínio 2

FECHAR

Fonte: dados da pesquisa.

O quadro abaixo traz um comparativo entre os resultados do cálculo manual feito pelos autores e os resultados do software:

**Quadro 7 - Resultados do software**

	Cálculo Manual Resultados do Livro	Resultados do Software
Área de aço necessária	$A_s = 1,46 \text{ cm}^2$	$A_s = 1,465 \text{ cm}^2$
Área de aço efetiva (real)	Não	$A_{real} = 1,58 \text{ cm}^2$
Posição da linha Neutra	$x = 0,0545 \text{ m}$	$x = 0,0546423 \text{ m}$
Domínio	2	2
Deformações	Não	$\varepsilon_s = 1\% \text{ e } \varepsilon_c = 0,232167\%$
Diâmetro da Armadura	Não	$\phi = 10 \text{ mm}$
Quantidade de barras	Não	$2\phi = 10 \text{ mm}$
Braço de Alavanca (z)	27 cm	Não

**Fonte:** dados da pesquisa.

Analisando os resultados apresentados acima verificamos que os resultados do software e os resultados do cálculo manual são praticamente iguais, destacando que o software fornece alguns resultados que os autores não calcularam, como a quantidade e o diâmetro das barras, a área de aço efetiva e as deformações dos materiais aço e concreto.

O cálculo de autor não apresenta as deformações do concreto ( $\varepsilon_c$ ) e do aço ( $\varepsilon_s$ ), sendo de grande utilidade para o projetista, pois permite que a seção seja dimensionada de forma que o aço e o concreto trabalhem juntos aproveitando ao máximo suas resistências de acordo com as deformações máximas apresentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014).

## 4.2 ESTUDO DE CASO 2

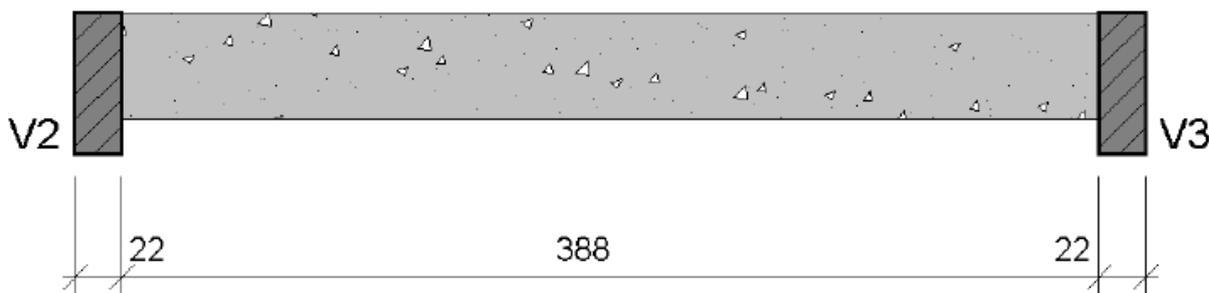
No estudo de caso 2 comparou-se o exemplo proposto por Pinheiro (2007), no capítulo 15 páginas 15.6 a 15.11, o qual apresenta a viga V1 apoiada nas vigas V2 e V3, conforme indicado na figura 20, onde deve-se determinar a área de aço necessária para uma viga de seção retangular em concreto armado com os seguintes dados.

Dados:

- Dimensões da seção: 22 ( $b_w$ ) x 40 ( $h$ );
- Classe do concreto C25;

- Aço CA-50;
- Cobrimento  $c = 2,5$  (Classe I);
- $M_k = 105,10 \text{ KN.m}$

**Figura 20 - Viga V1 biapoiada**  
**V1 (22x40)**



Fonte: dados da pesquisa.

Segue abaixo, nas figuras 21 e 22, os dados de entrada no software e os resultados obtidos.

**Figura 21 – Dados de entrada no software**

Uni-FACEF  
Centro Universitário Municipal de Franca

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO

2 APOIOS      3 APOIOS      4 APOIOS

A m1 B

Dados fornecidos pelo usuário

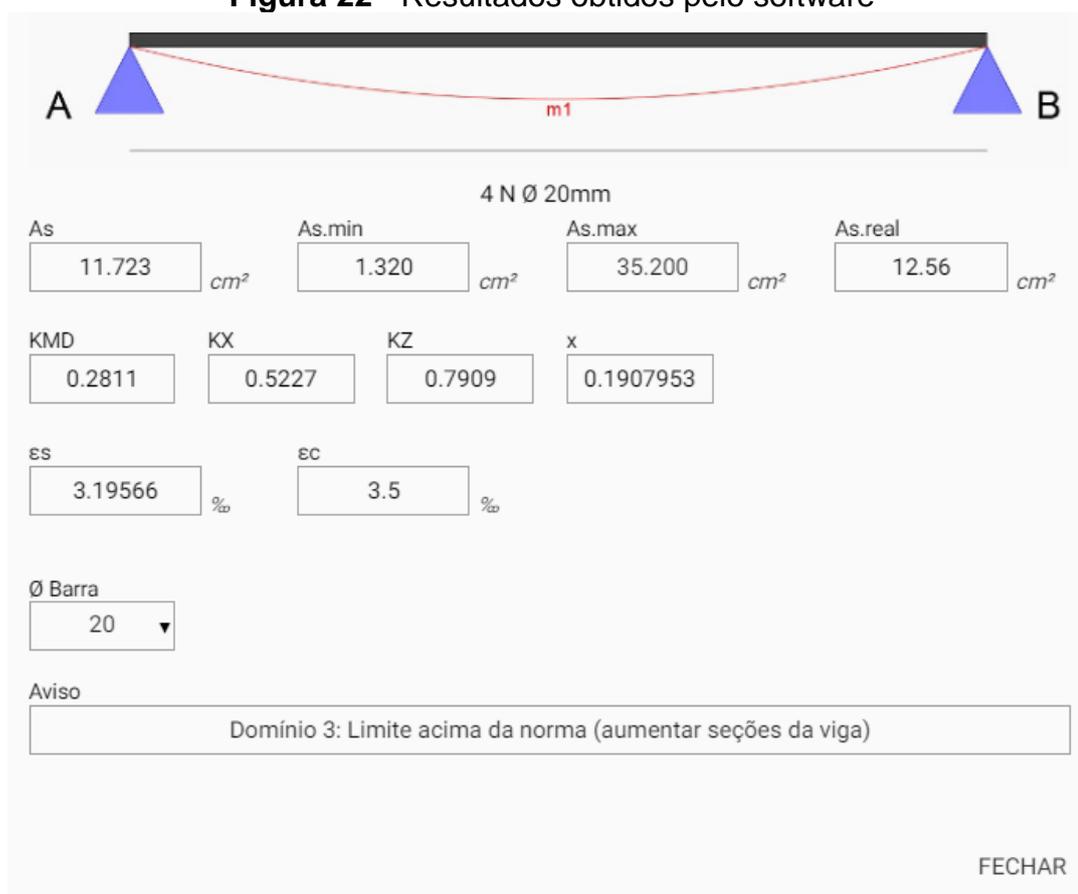
m1	105,1	KN.m	yf	1,4	Agressividade	I
bw	0,22	m	h	0,40	Cobrimento	2,5 cm
Tipo de aço	CA 50		ys	1,15	d	0,365 m
					fck	25 Mpa
					yc	1,4

CALCULAR

bw      d      h

Fonte: dados da pesquisa.

**Figura 22 - Resultados obtidos pelo software**



**Fonte:** dados da pesquisa.

O quadro abaixo traz um comparativo entre os resultados do cálculo manual feito pelo autor e os resultados obtidos através do software.

**Quadro 8 - Resultados do software**

	Cálculo Manual Resultados do Livro	Resultados do Software
Área de aço necessária	$A_s = 12,29 \text{ cm}^2$	$A_s = 12,008 \text{ cm}^2$
Área de aço efetiva (real)	$A_{real} = 11,723 \text{ cm}^2$	$A_{real} = 12,56 \text{ cm}^2$
Posição da linha Neutra	Não	$x = 0,1907953 \text{ m}$
Altura útil	0,359 cm	0,365 cm
Domínio	Não	3 (Limite acima da norma)
Deformações	Não	$\varepsilon_s = 2,9408\%$ e $\varepsilon_c = 3,5\%$
Diâmetro da Armadura	$\phi = 20 \text{ mm}$	$\phi = 20 \text{ mm}$
Quantidade de barras	$4\phi = 20 \text{ mm}$	$4\phi = 20 \text{ mm}$
Braço de Alavanca (z)	Não	Não

**Fonte:** dados da pesquisa.

Após a análise dos resultados obtidos no software e os resultados do autor, obtém-se resultados semelhantes, porém o autor não define o domínio que a viga está dimensionada, enquanto o software informa o domínio e notifica o usuário que está dimensionada acima do limite permitido por norma.

Pode-se constatar que os resultados apresentados pelo autor estão desatualizados, pois a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) foi atualizada em 2014, modificando a relação de  $x/d$  igual ou inferior a 0,45 e no cálculo deu acima sendo 0,5429. Atualmente essa viga não se apresenta dentro das normas, precisando ser recalculada.

### 4.3 ESTUDO DE CASO 3

Para o estudo de caso 3, será comparado um exemplo proposto por Bastos (2017), página 18, item 13.8.3, onde o autor busca dimensionar a armadura longitudinal ao longo de uma viga em concreto armado com três apoios. Segue abaixo os dados para cálculo:

Dados:

- Dimensões da seção: 19 cm ( $b_w$ ) x 60 cm ( $h$ );
- Classe de agressividade (CAA) II;
- $M_{k1} = 85.22 \text{ KN.m}$ ;
- $M_{k2} = 134.30 \text{ KN.m}$ ;
- $M_{k3} = 85.22 \text{ KN.m}$ ;

Segue abaixo as imagens 23 e 24, 25 e 26 com os dados de entrada do software e os resultados obtidos para comparação com o autor.

**Figura 23 - Entrada no software**

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO

2 APOIOS
3 APOIOS
4 APOIOS

Dados fornecidos pelo usuário

m1	m2	m3	yf	Agressividade
<input type="text" value="85.22"/> KN.m	<input type="text" value="134.30"/> KN.m	<input type="text" value="85.22"/> KN.m	<input type="text" value="1.4"/>	<input type="text" value="II"/>
bw	h	Cobrimento	d	
<input type="text" value=".19"/> m	<input type="text" value=".60"/> m	<input type="text" value="3"/> cm	<input type="text" value="0.560"/> m	
Tipo de aço	ys	fck	yc	
<input type="text" value="CA 50"/>	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="25"/> Mpa	<input type="text" value="1.4"/>	

Fonte: dados da pesquisa.

**Figura 24 - Dados no software**

m1

As	As.min	As.max	As.real
<input type="text" value="5.275"/> cm <sup>2</sup>	<input type="text" value="1.710"/> cm <sup>2</sup>	<input type="text" value="45.600"/> cm <sup>2</sup>	<input type="text" value="6.029999999999999"/> cm <sup>2</sup>
KMD	KX	KZ	x
<input type="text" value="0.1121"/>	<input type="text" value="0.1775"/>	<input type="text" value="0.9290"/>	<input type="text" value="0.0994012"/>
εS	εC	Ø Barra	
<input type="text" value="10"/> ‰	<input type="text" value="0.57140"/> ‰	<input type="text" value="16"/>	

Aviso

Domínio 2

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 25 - Dados no software

5 N Ø 16mm

A B C

m1 m2 m3

3 N Ø 16mm 3 N Ø 16mm

m2

As	As.min	As.max	As.real
8.754 cm <sup>2</sup>	1.710 cm <sup>2</sup>	45.600 cm <sup>2</sup>	10.049999999999999 cm <sup>2</sup>
KMD	KX	KZ	x
0.1767	0.2946	0.8822	0.1649643
es	ec	Ø Barra	
10 %	0.57140 %	16	

Aviso

Domínio 3

FECHAR

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 26 - Dados no software

5 N Ø 16mm

A B C

m1 m2 m3

3 N Ø 16mm 3 N Ø 16mm

m3

As	As.min	As.max	As.real
5.275 cm <sup>2</sup>	1.710 cm <sup>2</sup>	45.600 cm <sup>2</sup>	6.029999999999999 cm <sup>2</sup>
KMD	KX	KZ	x
0.1121	0.1775	0.9290	0.0994012
es	ec	Ø Barra	
10 %	2.15809 %	16	

Aviso

Domínio 2

FECHAR

Fonte: dados da pesquisa.

Os quadros abaixo trazem comparativos entre os resultados do cálculo manual feito pelo autor e os resultados obtidos através do software.

**Quadro 9 - Comparativos M1 e M3**

	Cálculo Manual Resultados do Livro	Resultados do Software
Área de aço necessária	$A_s = 5,33 \text{ cm}^2$	$A_s = 5,275 \text{ cm}^2$
Área de aço efetiva (real)	$A_{real} = 6,00 \text{ cm}^2$	$A_{real} = 6,03 \text{ cm}^2$
Posição da linha Neutra	$x = 0,099 \text{ m}$	$x = 0,099 \text{ m}$
Domínio	2	2
Deformações	Não	$\varepsilon_s = 10,0\%$ e $\varepsilon_c = 2,15809\%$
Diâmetro da Armadura	$\phi = 16 \text{ mm}$	$\phi = 16 \text{ mm}$
Quantidade de barras	$3\phi = 16 \text{ mm}$	$3\phi = 16 \text{ mm}$
Braço de Alavanca (z)	Não	Não

**Fonte:** dados da pesquisa.

**Quadro 10 - Comparativos M2**

	Cálculo Manual Resultados do Livro	Resultados do Software
Área de aço necessária	$A_s = 8,89 \text{ cm}^2$	$A_s = 8,754 \text{ cm}^2$
Área de aço efetiva (real)	$A_{real} = 9,25 \text{ cm}^2$	$A_{real} = 10,05 \text{ cm}^2$
Posição da linha Neutra	$x = 0,165 \text{ m}$	$x = 0,1649643 \text{ m}$
Domínio	3	3
Deformações	Não	$\varepsilon_s = 10,0\%$ e $\varepsilon_c = 0,571\%$
Diâmetro da Armadura	$\phi = 16 \text{ e } 12,5 \text{ mm}$	$\phi = 16 \text{ mm}$
Quantidade de barras	$4\phi = 16 \text{ mm} + 1\phi =$ $12,5 \text{ mm}$	$5\phi = 16 \text{ mm}$
Braço de Alavanca (z)	Não	Não

**Fonte:** dados da pesquisa.

Analisando os resultados apresentados acima verificamos que os resultados do software e os resultados do cálculo manual são semelhantes, a pequena diferença se dá por arredondamento do autor e a precisão do software. No resultado da quantidade de barras o autor define dois diâmetros diferentes, sendo

possível aproximar a área de aço real mais próxima a área de aço calculada, enquanto o software não é possível escolher mais de um tipo de barra.

#### 4.4 ESTUDO DE CASO 4

O estudo de caso 4 teve como referência um projeto real calculado pelo software Eberick. O Eberick é um software desenvolvido pela empresa AltoQI, para elaboração de projetos estruturais em concreto armado moldado in-loco, pré-moldado, alvenaria estrutural e estruturas mistas, sendo um software bem estabelecido no mercado. Representado no anexo B, o estudo de caso utiliza-se da viga V10, onde será comparada a área de aço e a quantidade de barras dimensionadas nos dois softwares.

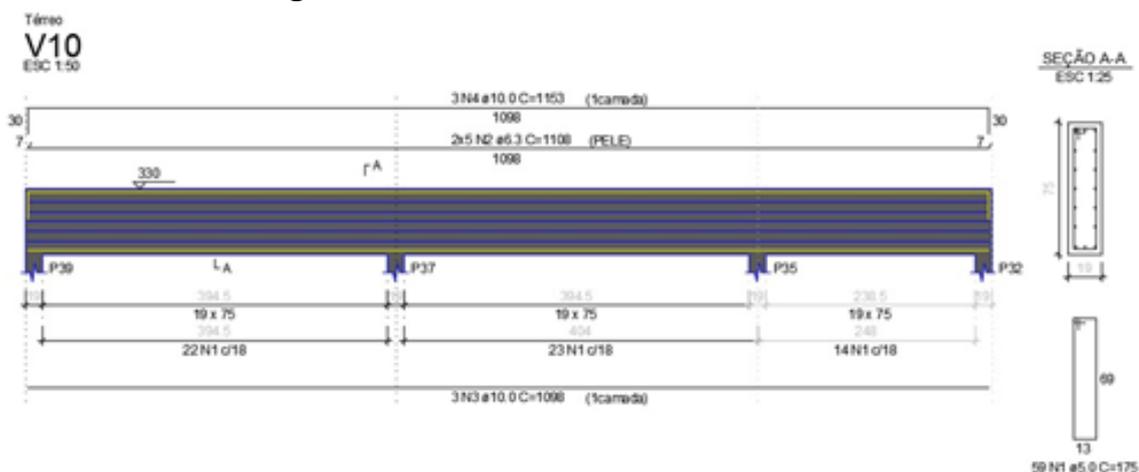
Dados:

- Dimensões da seção: 19 cm ( $b_w$ ) x 75 cm ( $h$ );
- $M_{k1} = 28.85 \text{ KN.m}$ ;
- $M_{k2} = 39.51 \text{ KN.m}$ ;
- $M_{k3} = 15.83 \text{ KN.m}$ ;
- $M_{k4} = 22.45 \text{ KN.m}$ ;
- $M_{k5} = 0 \text{ KN.m}$ .

Note que a classe de agressividade não foi informada, sendo assim adotou-se CAA II.

Segue abaixo na figura 27 os resultados obtidos pelo Eberick:

**Figura 27 - Resultados obtidos no software**



Fonte: dados da pesquisa.

Segue abaixo, nas figuras 28 e 29, os dados de entrada no software e os resultados obtidos respectivamente:

**Figura 28 - Dados de entrada no software**

Uni-FACEF

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO

2 APOIOS      3 APOIOS      4 APOIOS

A      B      C      D

m1      m2      m3      m4      m5

Dados fornecidos pelo usuário

m1	28.85	KN.m	m2	39.51	KN.m	m3	15.83	KN.m	m4	22.45	KN.m	m5	0	KN.m
γf	1.4		Agressividade	II		bw	0.19	m	h	0.75	m	Cobrimento	3	cm
d	0.710	m	Tipo de aço	CA 50		γs	1.15		fck	30	Mpa	γc	1.4	

CALCULAR

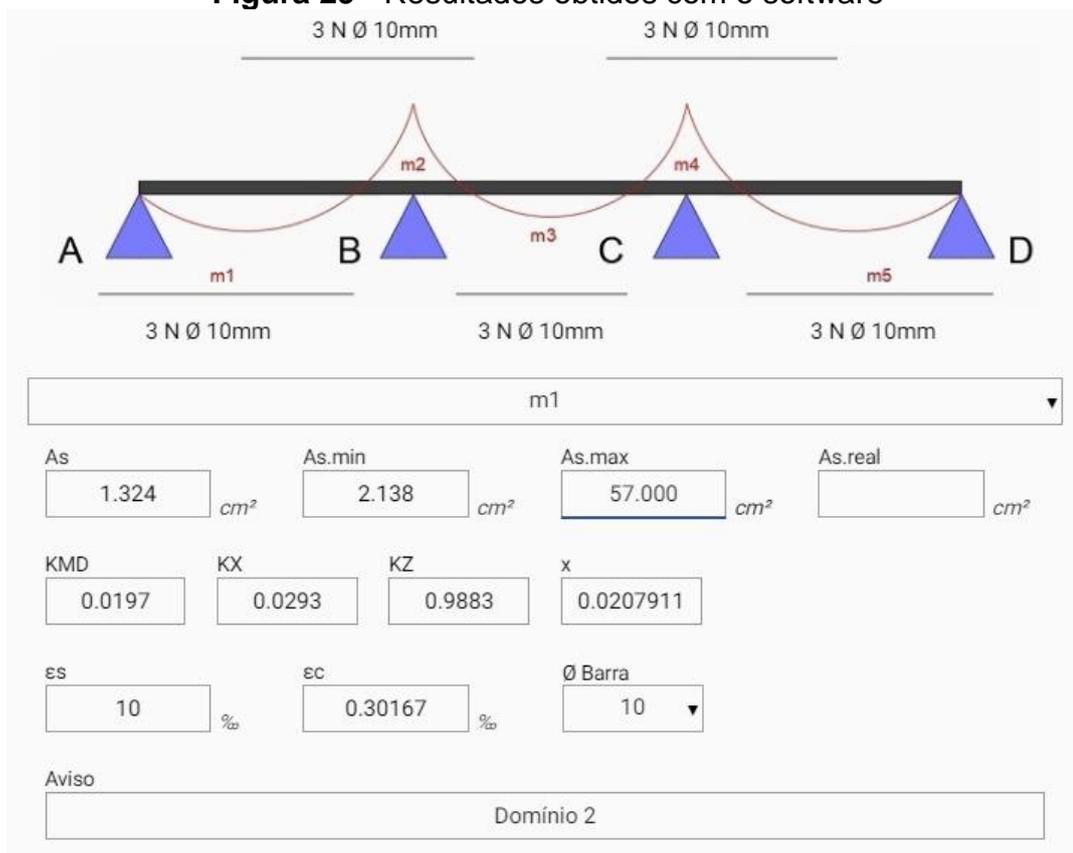
bw

h

d

Fonte: dados da pesquisa.

**Figura 29 - Resultados obtidos com o software**



**Fonte:** dados da pesquisa.

Analisando os resultados apresentados, verificamos que as quantidades de barras longitudinal dimensionadas nos dois softwares foram iguais, porém o software Eberick traz um dimensionamento e detalhamento completo da viga.

## CONCLUSÃO

Tendo em vista o referencial teórico, os objetivos propostos para este trabalho, as questões de pesquisa e a apresentação, análise e discussão dos dados, concluímos que:

- O software desenvolvido é livre e dimensiona a armadura longitudinal de uma viga de seção retangular em concreto armado, até quatro apoios, de acordo com a NBR 6118:2014 e a teoria proposta por Carvalho e Figueiredo (2014);
- Através dos estudos de casos, concluímos que o software pode ser utilizado por docente e discentes dos cursos de engenharia civil, especificamente nas disciplinas de concreto, para verificações dos cálculos feitos manualmente e testar hipóteses;
- A apresentação dos resultados das deformações do concreto e do aço no software, bem como o domínio em que a peça está trabalhando, fornece ao calculista a possibilidade de análise do comportamento da peça para uma melhoria no dimensionamento, sempre procurando maximizar a utilização do concreto e do aço, buscando a melhor relação custo - benefício.
- A possibilidade de escolha da armadura é fundamental, pois ao fornecer a área de aço necessária e a área de aço efetiva, o calculista tem a possibilidade de escolher o diâmetro da armadura que trará menor custo a peça.

Para continuidade deste trabalho, recomenda-se a melhoria do software nos seguintes pontos:

- Calcular a armadura transversal (estribos) de vigas de seções retangulares em concreto armado;
- Integrar ao programa a teoria que possibilite o cálculo dos esforços, momentos, cortantes, normais, torções, informando as cargas atuantes na viga;
- Dimensionar a armadura longitudinal e transversal de vigas de seções retangulares apoiadas com n apoios.
- Integrar ao programa a possibilidade de desenhos, edição das armaduras escolhidas, gerar relatórios de cálculo e consumo de materiais.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2007a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio De Janeiro-RJ: [s.n.], 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2011a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2007b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento*. Rio De Janeiro: [s.n.], 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistências e consistência*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2011b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS'. *NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*. Rio De Janeiro: [s.n.], 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 6892: Materiais metálicos - Ensaio de Tração - Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.
- BASTOS, P. *Fundamentos do concreto armado: Notas de aulas da disciplina de estruturas de concreto I*. Bauru: UNESP, 2011.
- BASTOS, P. *Vigas de concreto armado: Nota de aula da disciplina de estruturas de concreto II*. Bauru: [s.n.], 2017.
- CARAM JÚNIOR, R. *Estruturas e propriedades dos materiais*. Campinas: UNICAMP, 2000.

CARVALHO, R.; FIGUEIREDO FILHO, J. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: Segundo a NBR 6118:2014*. 4. ed. São Carlos: EDUFSCar, 2014. v. 1.

CARVALHO, R.; FIGUEIREDO, J.; FURLAN, S. A utilização de programas computacionais da área de estruturas no ensino de engenharia civil. *XVII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*, 2000.

DALLABRIDA, A.; VEIGAS, C. *Avaliação da resistência à compressão do concreto usinado: comparação entre o método de moldagem remota e moldagem in loco*. Trabalho de conclusão de curso. 2014. Trabalho de conclusão de Curso – UTFPR, Pato Branco, 2014.

GARCIA, A.; SPIM, J.; SANTOS, C. *Ensaio dos materiais*. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

GIL, A. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. São Paulo: [s.n.], 2008.

GIONGO, J. *Concreto Armado: Introdução e propriedades dos materiais*. São Carlos: UFSCar, 2007.

KIMURA, E. *Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado*. São Carlos: Editora Pini, 2007.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. *Construções de concreto – Princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado*. Rio de Janeiro: Interciências, 1982.

MADUREIRA, E. *Concreto Armado – Volume 1: Propriedades dos materiais – Desempenho estrutural*. Natal: UFRN, 2013.

MANZO, A. *Manual para la preparación de monografías: una guía para presentar informes y tesis*. Buenos Aires: Humanitas, 1971.

MARIANO, M. *APLICAÇÃO E ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE EBERICK EM UM PROJETO RESIDENCIAL POPULAR*. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

PINHEIRO, L. *Fundamentos de concreto e projeto de edifícios*. São Carlos: UFSCar, 2007.

SOMMERVILLE, I. *Software engineering*. 9. ed. [S.l.]: Pearson, 2012.

YIN, R. *Estudo de Caso – Planejamento e Métodos*. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2001.

## APÊNDICE A

### Manual de utilização do programa

O software desenvolvido tem como objetivo dimensionar a área de aço longitudinal de uma viga em concreto armado de seção retangular de acordo com a teoria abordada no capítulo anterior.

O software indicará a área de aço necessária e o usuário poderá escolher de barras necessárias e o diâmetro da armadura melhor atende suas necessidades.

A linguagem de programação escolhida para realizar o dimensionamento da armadura longitudinal das vigas foi o *JavaScript*, que atualmente é a principal linguagem *client-side* em navegadores web, com isso, a escolha deste modelo foi motivada pela facilidade na disponibilidade da ferramenta aos usuários, já que os serviços podem ser acessados pela internet, no endereço <http://www.zerun.com.br/tcc>.

A figura 30 abaixo corresponde a tela inicial do software, nela o usuário deve indicar os seguintes dados iniciais sobre a viga que pretende se dimensionar a armadura:

- 1) Número de apoios (até 4 apoios);
- 2) Momentos atuantes;
- 3) Fator de majoração dos carregamentos ( $\gamma_f$ );
- 4) Classe de agressividade;
- 5) Seções da viga ( $b_w, h$ );
- 6) Altura útil ( $d$ );
- 7) Tipo de aço;
- 8) Fator de minoração da resistência do aço ( $\gamma_s$ );
- 9) Classe de concreto ( $f_{ck}$ );
- 10) Fator de minoração da resistência do concreto ( $\gamma_c$ ).

**Figura 30 - Interface do software**

Fonte: dados da pesquisa.

Descrição dos dados iniciais:

1) Número de apoios (até 4 apoios)

O software calcula a armadura longitudinal de uma viga de 2, 3 e 4 apoios, sendo possível definir essa opção na parte superior, conforme destacado na figura 31.

**Figura 31 - Seleção dos números de apoio**

Fonte: dados da pesquisa.

2) Momento atuante (m)

Para efeitos de cálculo, é necessário inserir o momento fletor (m) gerado por cargas travesso ao eixo longitudinal. A quantidade necessária de

momentos fletores se dá de acordo com o número de apoios selecionado, conforme destacado na figura 32.

**Figura 32 - Momentos de apoio**

Fonte: dados da pesquisa.

### 3) Fator de majoração dos carregamentos ( $\gamma_f$ )

O fator de majoração ( $\gamma_f$ ) é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) como o valor mínimo de 1,4, o qual é multiplicado pelo momento fletor. Este valor está predefinido no software, (conforme destacado na figura 33) porém o usuário é livre para escolher o fator que melhor atende suas necessidades.

**Figura 33 – Fator de majoração dos carregamentos**

Fonte: dados da pesquisa.

#### 4) Classe de agressividade e cobrimento

De acordo com a classe de agressividade do meio ambiente à estrutura, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) define o cobrimento mínimo. O software define automaticamente o cobrimento após a seleção da classe de agressividade, sendo possível alterá-lo caso melhor atenda o usuário (Figura 34).

**Figura 34 – Classe de agressividade e cobrimento**

Fonte: dados da pesquisa.

#### 5) Seção da viga ( $b_w$ , $h$ )

A seção da viga são as dimensões, sendo o  $b_w$  a largura e o  $h$  a altura total. O usuário deverá inserir os dados, em metros, de acordo com o projeto. Na figura 35 está destacado os campos de deveram ser utilizados.

**Figura 35 – Seção da viga**

Fonte: dados da pesquisa.

## 6) Altura útil ( $d$ )

A altura útil ( $d$ ) da viga é a distância entre o centro de gravidade da armadura e a parte superior da viga, definida automaticamente pelo software de acordo com o cobrimento e a altura da seção ( $h$ ), apresentado em metros, conforme destacado na figura 36.

**Figura 36 – Altura útil**

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO

2 APOIOS      3 APOIOS      4 APOIOS

A B

**Dados fornecidos pelo usuário**

m1	yf	Agressividade
<input type="text"/>	<input type="text" value="1.4"/>	<input type="text"/>
bw	h	Cobrimento
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tipo de aço	ys	fck
<input type="text"/>	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text"/>
<input type="button" value="CALCULAR"/>	d	yc
	<input type="text" value="1.4"/>	<input type="text" value="1.4"/>

Fonte: dados da pesquisa.

## 7) Tipo de aço

O software disponibiliza dois tipos de aço, o CA-50 (500MPa) e o CA-60 (600 MPa), que deve ser selecionado de acordo com o projeto. A figura 37 destaca o campo a ser selecionado.

**Figura 37 - Tipo de aço**

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO

2 APOIOS      3 APOIOS      4 APOIOS

A m1 B

Dados fornecidos pelo usuário

m1  *KN.m*      yf       Agressividade

bw  *m*      h  *m*      Cobrimento  *cm*      d  *m*

Tipo de aço  (highlighted)      ys       fck  *Mpa*      yc

*bw*      *d*      *d1*      *h*

Fonte: dados da pesquisa.

### 8) Fator de minoração da resistência do aço ( $\gamma_s$ )

O fator de minoração da resistência do aço ( $\gamma_s$ ) é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) como o valor mínimo de 1,15, ou seja, reduz em 15% a resistência do aço. Este valor está predefinido no software, (conforme destacado na figura 38) porém o usuário é livre para escolher o fator que melhor atende suas necessidades.

**Figura 38 - Fator de minoração da resistência do aço**

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FLEXÃO DE VIGAS DE SEÇÕES RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO

2 APOIOS      3 APOIOS      4 APOIOS

A m1 B

Dados fornecidos pelo usuário

m1  *KN.m*      yf       Agressividade

bw  *m*      h  *m*      Cobrimento  *cm*      d  *m*

Tipo de aço       ys  (highlighted)      fck  *Mpa*      yc

*bw*      *d*      *d1*      *h*

Fonte: dados da pesquisa.

9) Classe do concreto ( $f_{ck}$ )

A classe do concreto é definida pela sua resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ). O usuário deve alimentar esse campo com a resistência definida em projeto.

**Figura 39 - Classe do concreto**

Fonte: dados da pesquisa.

10) Fator de minoração da resistência do concreto ( $\gamma_c$ )

O fator de minoração da resistência do concreto ( $\gamma_c$ ) é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) como o valor mínimo de 1,4, ou seja, reduz em 40% a resistência do concreto. Este valor está predefinido no software, (conforme destacado na figura 40) porém o usuário é livre para escolher o fator que melhor atende suas necessidades.

**Figura 40 - Fator de minoração da resistência do concreto**

Fonte: dados da pesquisa.

Após a inserção de todos os dados necessários para o cálculo, basta clicar em “CALCULAR” para que o software efetue os cálculos. Executando esse comando uma janela se abrirá com os resultados obtidos e opção de seleção da espessura das barras de aço, conforme ilustrado na figura 41.

Resultados obtidos:

- a) área de aço
- b) Termos adimensionais proposto por Carvalho e Figueiredo Filho
- c) Linha neutra (x)
- d) Elasticidade ( $E_c$  e  $E_s$ )
- e) Tipo de barra
- f) Avisos

**Figura 41 - Resultados**

The screenshot shows a software interface for displaying calculation results. At the top, there is a diagram of a beam with supports labeled 'A' and 'B'. A red curve represents the deflection of the beam, with a label 'm1' positioned below it. Below the diagram, there are several input fields for results, each with a unit:  $A_s$  (cm<sup>2</sup>),  $A_{s.min}$  (cm<sup>2</sup>),  $A_{s.max}$  (cm<sup>2</sup>),  $A_{s.real}$  (cm<sup>2</sup>), KMD, KX, KZ, x,  $E_s$  (%), and  $E_c$  (%). There is also a dropdown menu for 'Ø Barra' and a text area for 'Aviso'. A 'FECHAR' button is located in the bottom right corner.

**Fonte:** dados da pesquisa.

Descrição dos obtidos:

### 1) Área de aço

No software são obtidas 4 áreas de aço representado na figura 42, sendo área de aço necessária para resistir as cargas ( $A_s$ ), área de aço mínimo que

deve-se utilizar no dimensionamento da armadura ( $A_{s,min}$ ), área de aço máximo que deve-se utilizar no dimensionamento da armadura ( $A_{s,max}$ ) e a área de aço efetiva que define a área de aço real utilizada no dimensionamento. Todos resultados das áreas de aço são dados por  $cm^2$ .

**Figura 42 - Área do aço**

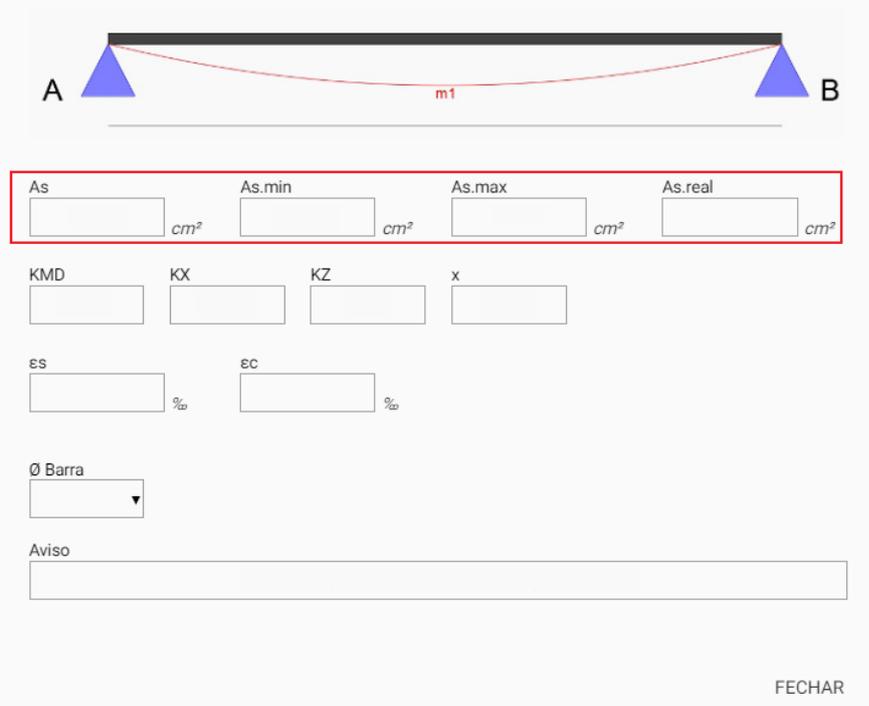


Diagrama de uma viga simplesmente apoiada em A e B, com uma carga distribuída  $m1$ .

Formulário de entrada de dados:

As	As.min	As.max	As.real
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
$cm^2$	$cm^2$	$cm^2$	$cm^2$

KMD  KX  KZ  x

es  % eC  %

Ø Barra

Aviso

FECHAR

**Fonte:** dados da pesquisa.

## 2) Termos adimensionais proposto por Carvalho e Figueiredo Filho

Método proposto por Carvalho e Figueiredo Filho para facilitar a execução do dimensionamento da armadura longitudinal da viga (kmd, kz e kx) conforme destacado na Figura 43.

**Figura 43 - Termos adimensionais propostos por Carvalho e Figueiredo**

$cm^2$       $cm^2$       $cm^2$       $cm^2$   
              
 %     %  
 Ø Barra   
 Aviso   
 FECHAR

Fonte: dados da pesquisa.

### 3) Linha Neutra (x)

Resultado da altura da linha neutra referente a seção da viga demonstrada na figura a baixo:

**Figura 44 - Linha neutra**

$cm^2$       $cm^2$       $cm^2$       $cm^2$   
              
 %     %  
 Ø Barra   
 Aviso   
 FECHAR

Fonte: dados da pesquisa.

### 4) Elasticidade ( $\epsilon_c$ e $\epsilon_s$ )

Resultado da elasticidade do concreto ( $\epsilon_c$ ) até 3,5 ‰ e a elasticidade do aço ( $\epsilon_s$ ) até 10‰ de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014).

**Figura 45 – Deformação**

As  cm<sup>2</sup>    As.min  cm<sup>2</sup>    As.max  cm<sup>2</sup>    As.real  cm<sup>2</sup>

KMD     KX     KZ     x

**SS**  ‰    **SC**  ‰

Ø Barra

Aviso

FECHAR

**Fonte:** dados da pesquisa.

### 5) Diâmetro da barra

O usuário deverá escolher o diâmetro da barra que melhor atende as necessidades de projeto. Após escolha do diâmetro, o programa automaticamente fornece a quantidade de barras e a área de aço efetiva ( $A_{s,real}$ ).

**Figura 46 – Diâmetro e quantidade de barras**

$cm^2$    
   $cm^2$    
   $cm^2$    
   $cm^2$

%   
 %

Ø Barra  
 ▼

Aviso

FECHAR

**Fonte:** dados da pesquisa.

## 6) Aviso

O software possui um campo de avisos para facilitar o entendimento do usuário, o qual notifica o domínio que a viga está dimensionada informando se a estrutura está apta das normas, podendo assim ser utilizada.

Figura 47 – Avisos e informações

A B

As  cm<sup>2</sup>    As.min  cm<sup>2</sup>    As.max  cm<sup>2</sup>    As.real  cm<sup>2</sup>

KMD     KX     KZ     x

es  %    ec  %

Ø Barra

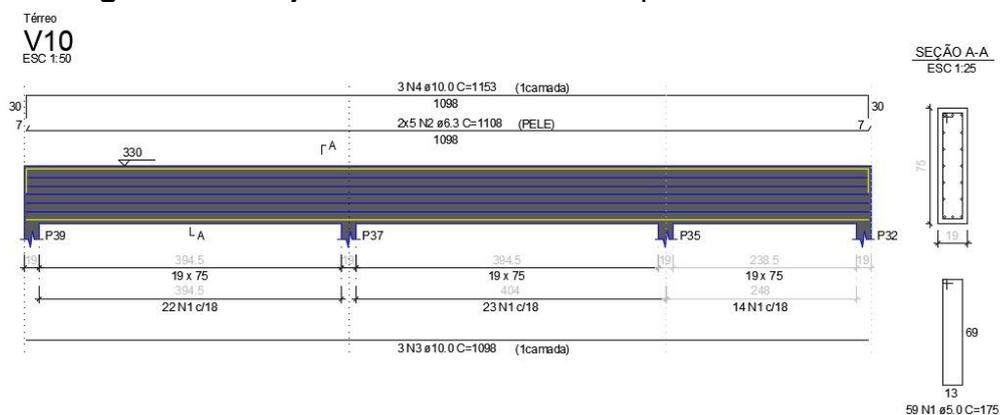
Aviso

FECHAR

Fonte: dados da pesquisa.

## APÊNDICE B

**Figura 47 - Projeto estrutural calculado pelo software Eberick**



Fonte: dados da pesquisa.

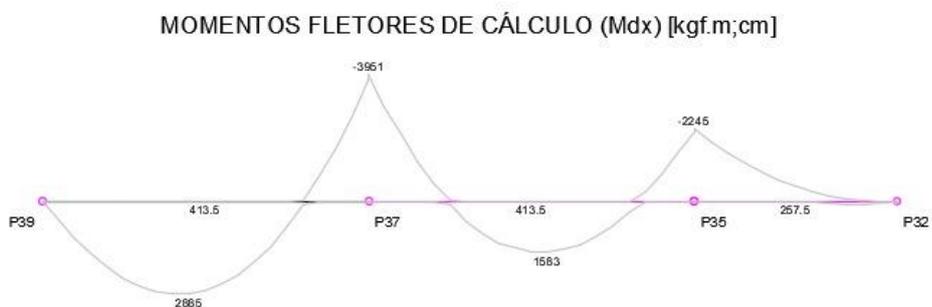
**Quadro 11 - Características dos materiais**

Características dos materiais		
Elemento	fck (kgf/cm <sup>2</sup> )	Ecs (kgf/cm <sup>2</sup> )
Vigas	300	268384
Pilares	250	241500
Lajes	300	268384

Dimensão máxima do agregado = 19 mm

Fonte: dados da pesquisa.

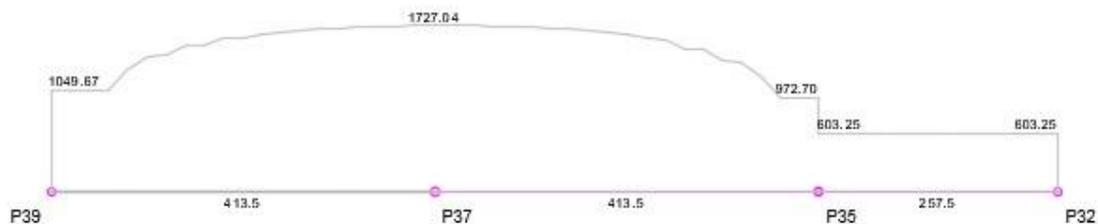
**Figura 48 - Momentos fletores de Cálculo**



Fonte: dados da pesquisa.

**Figura 49 - Viga V10 - Térreo**  
**VIGA: V10 - Térreo**

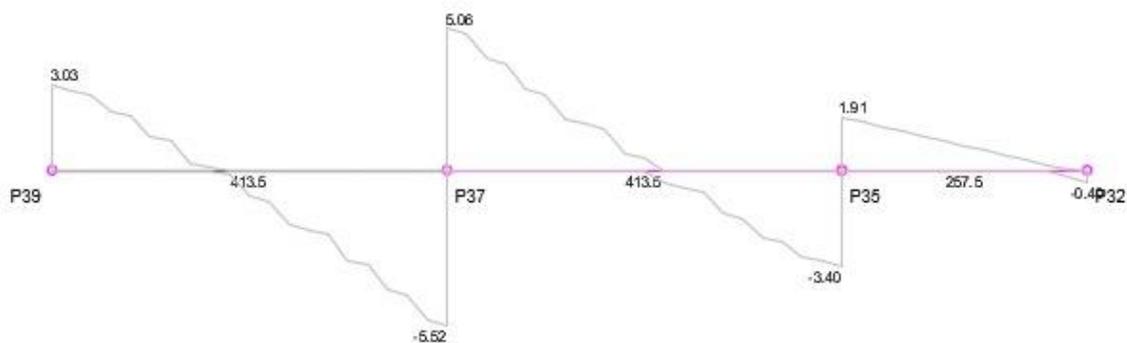
CARREGAMENTO [kgf/m;cm]



Fonte: dados da pesquisa.

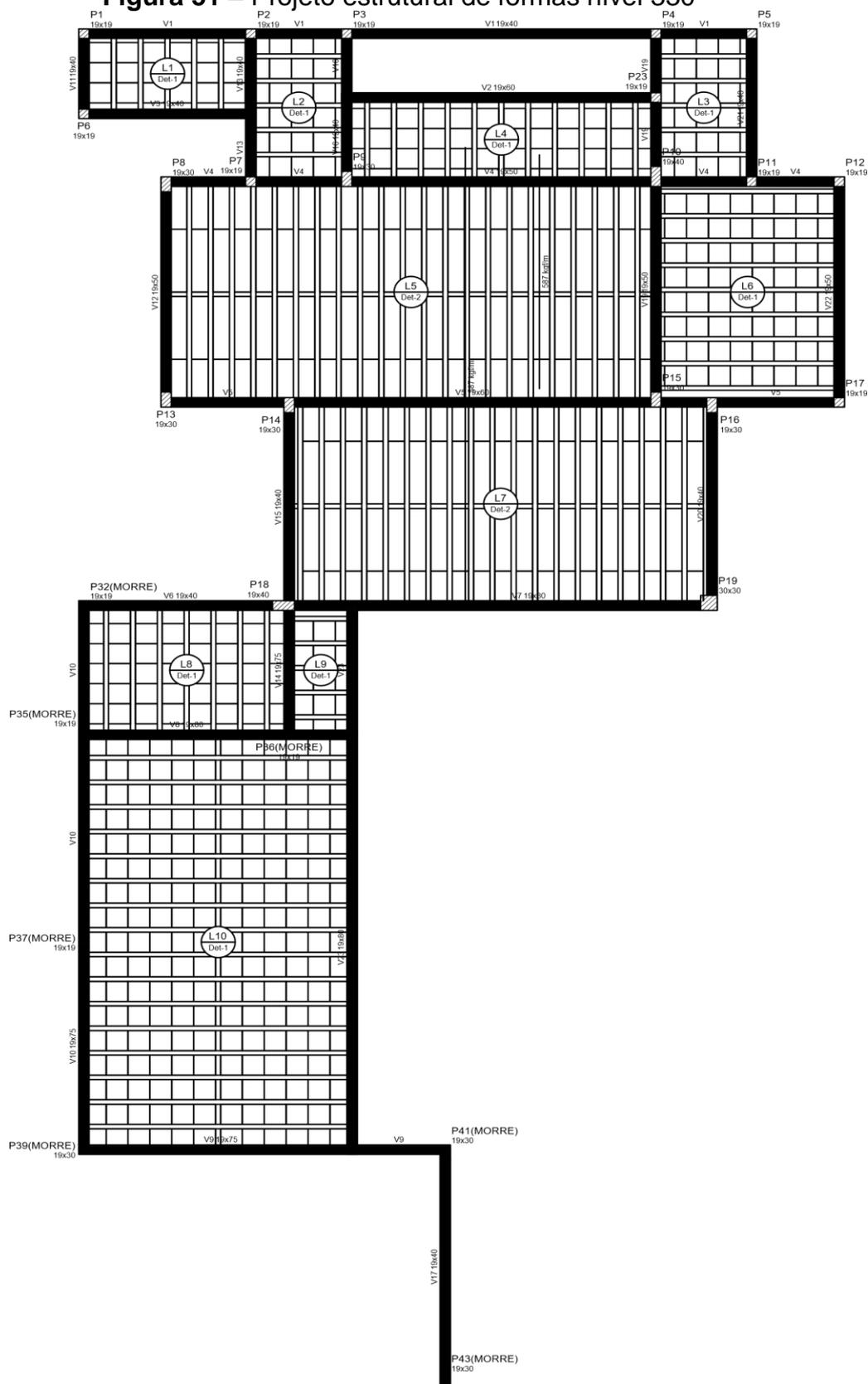
**Figura 50 - Esforços cortantes de Cálculo**

ESFORÇOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [tf;cm]



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 51 – Projeto estrutural de formas nível 330



Fonte: dados da pesquisa.