

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RENAN COIMBRA SALES DA SILVA

**APLICATIVO DE APOIO À APRENDIZAGEM DA DISCIPLINA DE
RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS**

CAMPO MOURÃO

2019

RENAN COIMBRA SALES DA SILVA

**APLICATIVO DE APOIO À APRENDIZAGEM DA DISCIPLINA DE
RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Fukunaga Surco

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO
Trabalho de Conclusão de Curso
APLICATIVO DE APOIO À APRENDIZAGEM DA DISCIPLINA DE RESISTÊNCIA
DOS MATERIAIS por
Renan Coimbra Sales da Silva

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 08h30min do dia 10 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Goes
(UTFPR)

Prof. Dr. Leandro Waidemam
(UTFPR)

Prof. Dr. Douglas Fukunaga Surco
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr(a). Paula Cristina de Souza

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

A Deus.
Aos meus pais Sônia e José.
A minha irmã Sara.

RESUMO

A disciplina de resistência dos materiais é responsável por grandes taxas de reprovação no curso de engenharia civil devido a seus cálculos precisarem de um bom embasamento teórico. Atualmente, com a grande evolução e popularidade de dispositivos móveis, o problema pode ser amenizado com a modernização o processo de aprendizagem no meio acadêmico por meio de aplicativos para celulares, de forma que, com a simplificação dos processos de cálculo, os alunos possam se concentrar mais na análise e entendimento do conteúdo. As tensões normais, cisalhantes e momentos fletores constituem grande parte do dimensionamento de vigas, sendo um dos conteúdos mais importantes da disciplina de resistência dos materiais. Considerando esses fatores, este trabalho teve como objetivo criar um aplicativo que calcula e traça diagramas de força cortante, momento fletor, tensão normal e tensão cisalhante em vigas isostáticas de forma prática e intuitiva.

Palavras-chave: Aplicativo; Momento Fletor; Força Cortante; Tensão Normal; Tensão Cisalhante; Diagrama; Resistência dos Materiais.

ABSTRACT

The subject of mechanics of structural materials is responsible for high reproval rates in the civil engineering course because of its calculus requires an advanced background theory. Currently, with the astonishing evolution and popularity of mobile devices, the problem can be softened with the improvement of the learning process in the academical environment through mobile apps, so that with the simplification of calculation methods, the students can concentrate more in analysis and understanding of the mechanics of structural materials subject. The normal stresses, shear stresses and bending moments are a big portion in a beam sizing, being one of the most difficult contents of the strength of materials subject. Considering this situation, this study had the objective of creating an application capable of calculating and plotting shear forces, bending moments, normal stresses and shear stresses in a simple and in an intuitive way.

Keywords: Application; Bending Moment; Shear Forces; Normal Stresses; Shear stresses; Diagram; Mechanics of Structural Materials.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Idealização dos esforços.	12
Figura 2: Cargas resultantes internas.	13
Figura 3: Estado de tensão em um ponto do corpo.	14
Figura 4: Diagramas de tensão-deformação convencional e real para o aço (fora de escala).	16
Figura 5: Diagrama tensão-deformação para um material frágil típico.	17
Figura 6: Diagrama tensão-deformação para o concreto.	17
Figura 7: Tensão de esmagamento.	18
Figura 8: Deformações ocasionadas por um esforço de tração.	19
Figura 9: Deformações ocasionadas por um esforço de compressão.	19
Figura 10: Diagrama tensão-deformação de cisalhamento.	21
Figura 11: Barra homogênea sujeita à força normal.	22
Figura 12: Efeitos da deformação por torção em uma barra circular.	23
Figura 13: Barra de seção quadrada deformada por torção.	23
Figura 14: Comportamento de uma barra circular submetida torção.	24
Figura 15: Tensão cisalhante em uma barra circular cheia e em uma vazada.	26
Figura 16: Barra circular submetida a torques iguais e opostos nas extremidades.	27
Figura 17: Tipos de vigas estaticamente determinadas.	28
Figura 18: Viga biapoiada com balanço e sujeita a dois tipos de carregamento.	29
Figura 19: Convenção de sinais para momento fletor e força cortante.	30
Figura 20: Barra prismática sujeita à momentos conjugados.	30
Figura 21: Barra prismática cortada em uma seção no ponto C.	31
Figura 22: Elemento deformado devido à flexão.	31
Figura 23: Distribuição linear da tensão normal.	32
Figura 24: Distribuição linear da tensão cisalhante.	33
Figura 25: Comparação no número de downloads de bibliotecas para programação.	34
Figura 26: Fluxograma do funcionamento do aplicativo para o usuário.	36
Figura 27: Fluxograma do roteiro de cálculo do aplicativo.	38
Figura 28: Tela de interface do aplicativo para a opção de seção retangular.	39
Figura 29: Tela de interface do aplicativo para a opção de seção T.	40
Figura 30: Tela de interface do aplicativo para a opção de seção I.	40
Figura 31: Tela de interface do aplicativo para a opção de seção circular.	41
Figura 32: Interface do aplicativo para a vinculação inicial biapoiada.	42
Figura 33: Interface do aplicativo para a vinculação engastada.	42
Figura 34: Posição do engaste na viga após clicar no botão mudar posição de apoio.	43
Figura 35: Posição do engaste na viga após clicar no botão mudar posição de apoio.	43
Figura 36: Posição do engaste na viga após clicar no botão mudar posição de apoio.	44
Figura 37: Primeira janela para mudar a posição dos apoios na opção biapoiada.	44
Figura 38: Janela para escolher a nova posição do apoio móvel.	44
Figura 39: Janela para escolher a nova posição do fixo.	45
Figura 40: Resultado após uma mudança na posição do apoio fixo.	45
Figura 41: Interface com os campos para colocar cargas na viga.	46
Figura 42: Viga após o lançamento da carga distribuída.	47
Figura 43: Diagrama de força cortante gerado pelo aplicativo.	48
Figura 44: Diagramas de momento fletor, tensão normal e tensão cisalhante.	48

LISTA DE SIGLAS

HTML	HyperText Markup Language,
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
CSS	Cascading Style Sheets

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	10
1.1.1 OBJETIVO GERAL	10
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.2 JUSTIFICATIVA	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS	12
2.1.1 TIPOS DE FORÇAS	12
2.1.2 EQUILÍBRIO DE UM CORPO DEFORMÁVEL	13
2.1.3 MÉTODO DAS SEÇÕES	13
2.1.4 TENSÃO	14
2.1.5 FATOR DE SEGURANÇA	15
2.1.7 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS	15
2.1.8 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO	15
2.1.9 MATERIAIS DÚCTEIS E FRÁGEIS	16
2.1.10 TENSÃO DE ESMAGAMENTO EM CONEXÕES	18
2.1.11 DEFORMAÇÕES TRIDIMENSIONAIS	19
2.1.12 COEFICIENTE DE POISSON	20
2.1.13 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CISALHAMENTO	20
2.1.14 DEFORMAÇÃO ELÁSTICA	21
2.1.16 DEFORMAÇÃO POR TORÇÃO	22
2.1.17 TENSÕES CISALHANTES NO REGIME ELÁSTICO	25
2.1.18 VIGAS	28
2.1.19 DIAGRAMAS DE FORÇA CORTANTE E MOMENTO FLETOR	28
2.1.20 CONVENÇÃO DE SINAIS	30
2.1.21 ELEMENTOS SUBMETIDOS À FLEXÃO	30
2.1.22 TENSÃO NO REGIME ELÁSTICO	32
2.1.23 DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES DE CISALHAMENTO EM UMA VIGA	33
2.2 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	34
2.2.1 CREATE REACT APP	34
2.2.2 JAVASCRIPT	35
2.2.3 HTML	35
2.2.4 CSS	35

2.2.5 VISUAL STUDIO CODE.....	35
3 METODOLOGIA	36
3.1 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	36
3.2 CRIAÇÃO DA INTERFACE	37
3.3 IMPLEMENTAÇÃO DE ROTEIROS DE CÁLCULO.....	37
3.4 VALIDAÇÃO DOS DADOS DO APLICATIVO	38
3.5 LIMITAÇÕES DO APLICATIVO	38
4 RESULTADOS.....	39
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
APÊNDICE A – EXEMPLOS PARA A VALIDAÇÃO DO APLICATIVO.....	53
APÊNDICE B – CÓDIGO PARA IMPEDIR A DIGITAÇÃO DE LETRAS PELO USUÁRIO E PARA SUBSTITUIR O CARACTERE VIRGULA POR PONTO	58

1 INTRODUÇÃO

A importância dos materiais na história do homem é tal que, nos primórdios, ela foi conhecida pelo material característico de cada fase, como Idade da Pedra, Idade do Bronze e Idade da Pedra Lascada (BARROS, 2000).

Em cada era cronológica da história, a humanidade buscou novos materiais e métodos mais eficientes para a construções de obras maiores, mais resistentes e com um menor tempo de construção. Navarro (2006) afirma que os materiais e métodos se tornaram mais estratégicos e mais elaborados conforme a civilização se tornou mais desenvolvida.

Atualmente, a maioria dos materiais utilizados na construção civil possuem suas propriedades controladas com precisão industrial. O ápice da otimização dos métodos utilizados para a projeção de obras são os aplicativos, pois além de auxiliarem os profissionais, também estão presentes no meio acadêmico, já que o uso de novas tecnologias auxiliam na versatilidade e simplificação dos métodos para o processo de aprendizagem (SILVA; PINTO; SUBRAMANIAN, 2007).

Apesar de diversos programas de computador já facilitarem e padronizarem a construção de projetos ou a execução cálculos complexos, existem poucos deles relacionados à engenharia civil cujo objetivo final é auxiliar no aprendizado de matérias complexas, como resistência dos materiais. Assim como o mercado da construção civil inova suas ferramentas, a área acadêmica tem muito a evoluir ao se integrar as ferramentas bibliográficas às digitais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um aplicativo capaz de auxiliar no aprendizado do cálculo de tensões, diagramas de força normal e de momento fletor em vigas isostáticas devido à momentos pontuais e forças pontuais e distribuídas que apresente diagramas de forma prática e intuitiva para estudantes de engenharia na disciplina de resistência dos materiais nas plataformas Android e iOS.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar métodos e convenções utilizadas para o cálculo de tensões normais e tensões cisalhantes em vigas;
- Desenvolver um aplicativo de apoio ao ensino de tensões normais devido à momentos fletores nas plataformas Android e iOS;
- Validar os resultados obtidos pelo aplicativo com exemplos resolvidos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, existem poucos aplicativos para celulares capazes de resolver problemas específicos da matéria de resistência dos materiais. Os aplicativos já existentes para essa plataforma possuem certo valor para a aquisição ou possuem uma interface de difícil acessibilidade para o usuário.

Segundo Andrade (2013), a evolução constante do hardware e aplicativo de dispositivos móveis está possibilitando o desenvolvimento de equipamentos capazes de substituir computadores de mesa na maior parte das atividades e, portanto, futuramente a maioria dos aplicativos será voltada para celulares.

Há um número significativo de reprovações em matérias de estruturas. Na Universidade Federal de Santa Catarina, por exemplo, cerca de 25,1% dos alunos reprovaram na disciplina de mecânica dos sólidos I e cerca de 24,4% dos alunos reprovaram na disciplina de mecânica dos sólidos II (ZIMMERMANN et al., 2011).

A criação de um novo aplicativo gratuito e intuitivo para resolver problemas de suma importância para a base de estruturas da ementa do curso de engenharia civil vem como uma alternativa para facilitar o entendimento e compreensão dos alunos para com as matérias, além de proporcionar uma maior acessibilidade para os usuários do que os aplicativos para desktop.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

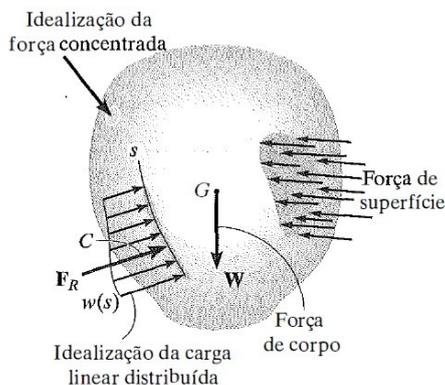
2.1 RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Segundo Hibbeler (2010), o estudo da resistência dos materiais é uma ramificação da disciplina de mecânica aplicada que trabalha com corpos sólidos e suas deformações quando submetidos a variados tipos de esforços. A determinação de tensões, deformações e deslocamentos se tornam, portanto, imprescindíveis para calcular a resistência específica de um material sujeito a um carregamento.

2.1.1 TIPOS DE FORÇAS

Segundo Beer et al. (2011), um corpo pode estar sujeito a diferentes tipos de forças e, para melhor entendimento, elas se dividem em força de superfície e em força de corpo, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Idealização dos esforços.



Fonte: Retirado de Hibbeler (2010).

A força de superfície é uma força aplicada na superfície de um elemento de forma que haja contato físico entre ambos os corpos envolvidos no ato da aplicação da força. A força de corpo, todavia, age entre dois corpos sem que haja contato físico entre eles, como a gravidade faz com que corpos sejam atraídos para o núcleo da Terra sem que haja contato físico com o corpo (BEER et al., 2011).

2.1.2 EQUILÍBRIO DE UM CORPO DEFORMÁVEL

Segundo Nash (2014), o conceito de força implica que para haver um equilíbrio de um corpo é necessário um equilíbrio entre as forças e os momentos nele atuantes, de forma que o corpo seja impedido de se movimentar e de girar. As Equações (1) e (2) descrevem matematicamente o processo.

$$\sum F = 0. \quad (1)$$

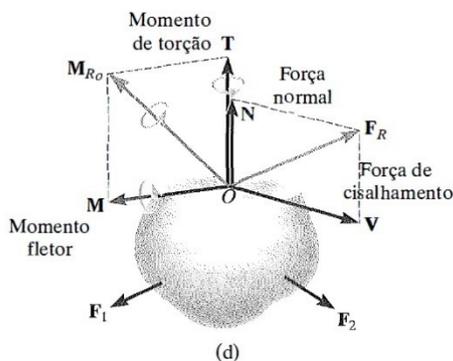
$$\sum M_o = 0. \quad (2)$$

De modo a obter o equilíbrio, a disciplina de resistência dos materiais trabalha com a força e o momento resultantes que atuam no interior de um corpo ao ser submetido aos esforços externos e verifica a capacidade de um corpo de resistir a eles. O método utilizado para tal fim é conhecido como método das seções (HIBBELER, 2010).

2.1.3 MÉTODO DAS SEÇÕES

Segundo Nash (2014), o método das seções consiste em escolher uma seção que atravesse a estrutura e determinar as forças internas na mesma. A Figura 2 mostra as forças resultantes internas do método das seções.

Figura 2: Cargas resultantes internas.



Fonte: Retirado de Hibbeler (2010).

É possível utilizar equações de equilíbrio no centroide de uma seção adotada no método das seções para obter componentes que representam as forças internas, dividindo-as em quatro tipos: força normal, força cortante, momento fletor e momento torçor (HIBBELER, 2010).

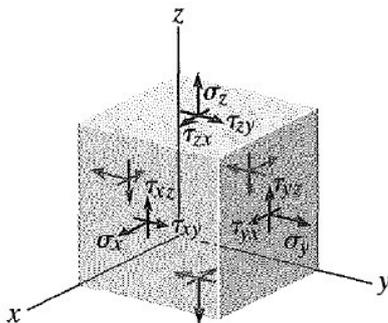
2.1.4 TENSÃO

Segundo Hibbeler (2010), a tensão pode ser resumida como a força por unidade de área que age perpendicularmente ou paralelamente à área de uma seção interna de um corpo. Para efeitos de cálculo, faz-se necessário adotar duas premissas com relação às propriedades do material, sendo a primeira adotar que o material é contínuo e não possui vazios e a outra é adotar que o material seja íntegro, ou seja, suas partes não possuam trincas ou separações. As Equações (3) e (4) descrevem matematicamente o comportamento das tensões normais e cisalhantes. A Figura 3 mostra as tensões em um ponto infinitesimal de um corpo.

$$\sigma = \frac{F}{A}. \quad (3)$$

$$\tau_{\text{méd}} = \frac{F}{A}. \quad (4)$$

Figura 3: Estado de tensão em um ponto do corpo.



Fonte: Retirado de Hibbeler (2010).

A tensão pode ser classificada como tensão de compressão, tensão de tração ou tensão cisalhante dependendo do esforço que a gera, sendo que o sinal da tensão de cisalhamento não tem significado físico (NASH, 2014).

2.1.5 FATOR DE SEGURANÇA

Segundo Beer et al. (2011), para garantir a segurança é necessário escolher uma tensão admissível que seja menor que a tensão de ruptura de uma estrutura, uma vez que é possível que os materiais utilizados possuam defeitos de fabricação ou que ocorram cargas não previstas no projeto ou ainda que ocorra deterioração nos materiais. Um método para adotar uma carga admissível para um projeto é utilizar um fator de segurança, assim como a **Equação (5)** mostra.

$$FS = \frac{\sigma_{rup}}{\sigma_{adm}}. \quad (5)$$

Se a carga aplicada a um elemento possuir uma relação linear com a tensão resultante no interior do mesmo, então o fator de segurança pode ser obtido através da razão entre a tensão de ruptura e a tensão admissível (NASH, 2014).

2.1.7 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS

Segundo Nash (2014), cada material se comporta de maneira diferente ao ser submetido à esforços. A resistência de um material depende da máxima carga que ele pode suportar sem sofrer deformações excessivas ou se romper. Essa propriedade é inata de cada material e pode ser descoberta através de ensaios de diversas naturezas para obter os limites do mesmo para cada tipo de esforço.

2.1.8 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

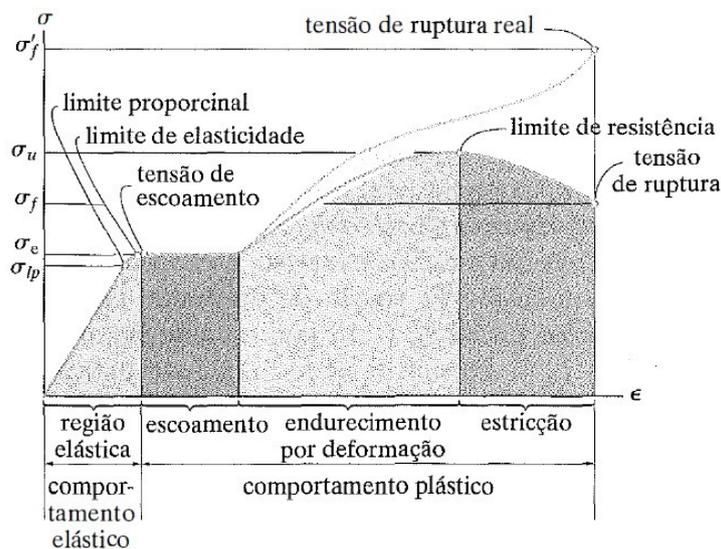
Segundo Beer et al. (2011), ao se realizar ensaios de compressão e de tração, é possível obter uma relação entre a tensão atuante no corpo e sua respectiva deformação. O gráfico que mostra os resultados da aplicação de uma carga para obter a relação entre a tensão e a deformação de um material é chamado de diagrama tensão-deformação e é de suma importância para conhecer os limites de resistência de cada material.

2.1.9 MATERIAIS DÚCTEIS E FRÁGEIS

Segundo Hibbeler (2010), com base nos diagramas tensão-deformação dos materiais é possível classificá-los em dúcteis e frágeis. Quando um material apresenta grandes deformações antes de atingir a ruptura ele é classificado como dúctil, mas se ele exibir pouca ou nenhuma deformação antes de se romper então o material é classificado como frágil. A Equação (6) mostra a relação entre tensão e deformação da região elástica da Figura 4. A Figura 5 e a Figura 6 mostram o diagrama tensão-deformação de um material frágil típico e do concreto, respectivamente.

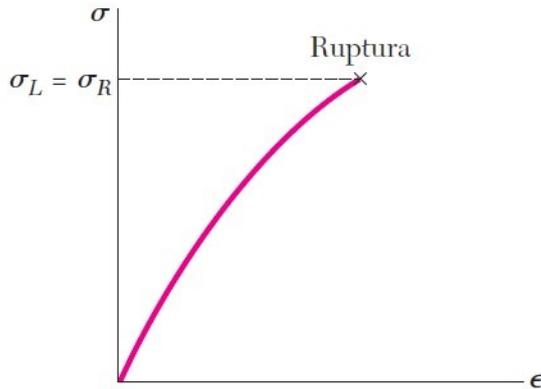
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}. \quad (6)$$

Figura 4: Diagramas de tensão-deformação convencional e real para o aço (fora de escala).



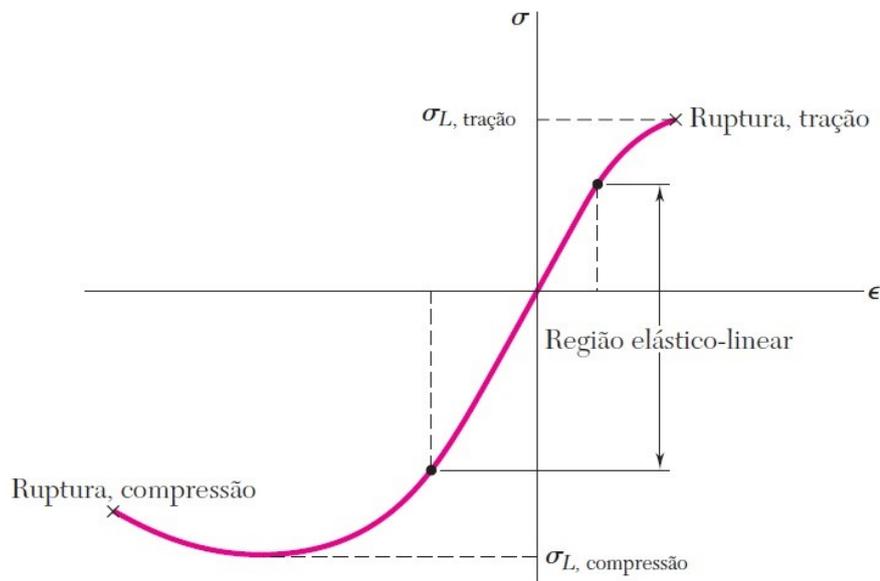
Fonte: Retirado de Hibbeler (2010).

Figura 5: Diagrama tensão-deformação para um material frágil típico.



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Figura 6: Diagrama tensão-deformação para o concreto.



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

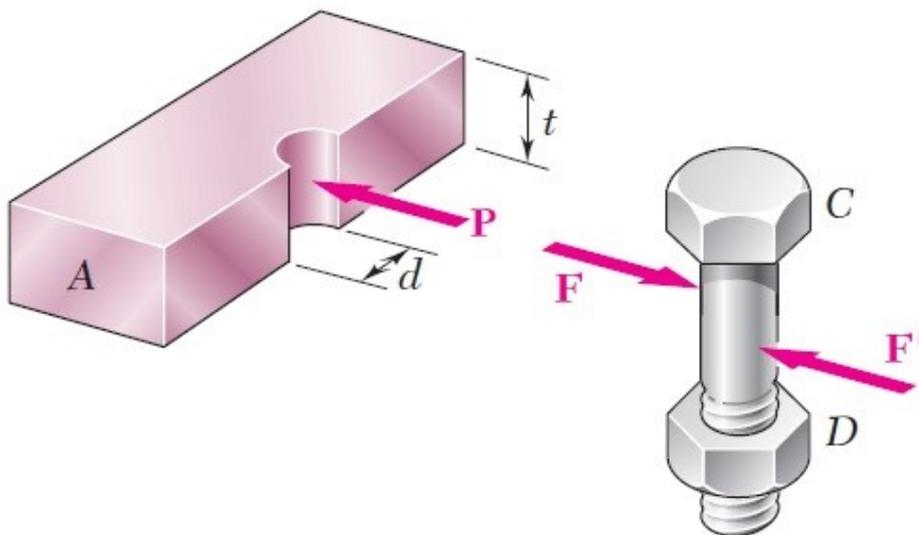
O diagrama de tensão-deformação é um bom indicador para se obter o conhecimento de qual material é melhor para cada esforço solicitante, por exemplo, o concreto tem uma elevada resistência à compressão, mas uma insignificante resistência à tração (BEER et al., 2011).

2.1.10 TENSÃO DE ESMAGAMENTO EM CONEXÕES

Parafusos e pinos criam tensões ao longo da superfície dos elementos em que eles são conectados. Em uma ligação parafusada com uma placa retangular, o parafuso exerce no elemento a mesma força que o elemento exerce no parafuso, assim como mostra a Figura 7. Como tais forças possuem tensões correspondentes muito complexas, utiliza-se a aproximação descrita na Equação (7) (NASH, 2014).

$$\sigma_e = \frac{P}{A} = \frac{P}{t \cdot d} \quad (7)$$

Figura 7: Tensão de esmagamento.



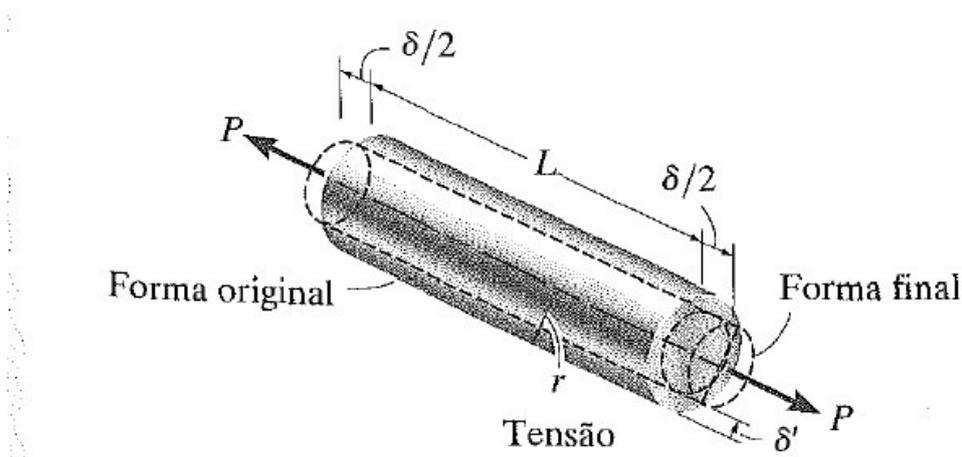
Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Pode se dizer que nesse caso o parafuso encontra-se em cisalhamento simples, entretanto, podem ocorrer diferentes situações de carga dependentes do arranjo de uma ligação parafusada (HIBBELER, 2010).

2.1.11 DEFORMAÇÕES TRIDIMENSIONAIS

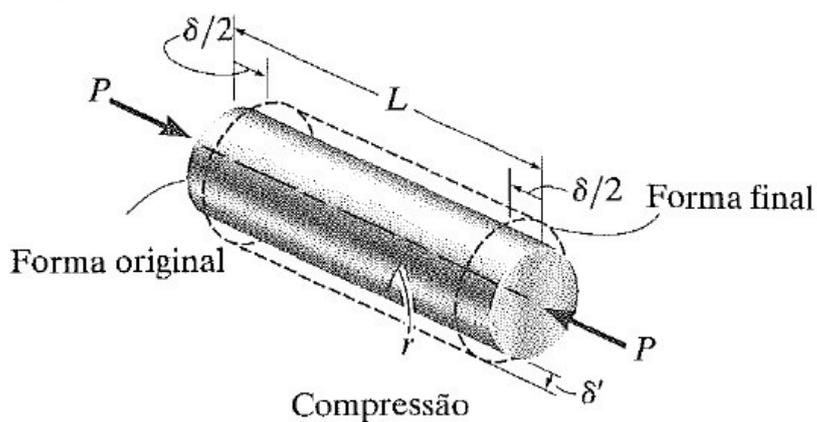
Quando submetido a uma força de tração axial de tração, um elemento não apenas se alonga longitudinalmente, mas também encurta lateralmente como ilustra a Figura 8. Da mesma maneira, uma força de compressão faz um corpo contrair longitudinalmente e alongar lateralmente como mostra a Figura 9 (BEER et al., 2011).

Figura 8: Deformações ocasionadas por um esforço de tração.



Fonte: Retirado de Hibbeler (2010).

Figura 9: Deformações ocasionadas por um esforço de compressão.



Fonte: Retirado de Hibbeler (2010).

O fenômeno ocorre porque a força axial tende a deslocar os átomos da superfície da barra, de forma que, eles se reorganizam ao longo da barra, encurtando ou alongando o elemento (HIBBELER, 2010).

2.1.12 COEFICIENTE DE POISSON

No início do século XIX, o matemático francês Simeón Denis Poisson (1781-1840) percebeu que dentro da faixa onde um material se comporta no regime elástico, a razão entre a deformação longitudinal e a deformação latitudinal são constantes. Essa constante foi denominada de coeficiente de Poisson e possui um valor único caso o material analisado seja homogêneo e isotrópico. As Equações (8), (9) e (10) descrevem respectivamente as fórmulas matemáticas do coeficiente de Poisson, deformação longitudinal e deformação latitudinal (HIBBELER, 2010).

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{lat}}{\varepsilon_{long}} . \quad (8)$$

$$\varepsilon_{long} = \frac{\delta}{L} . \quad (9)$$

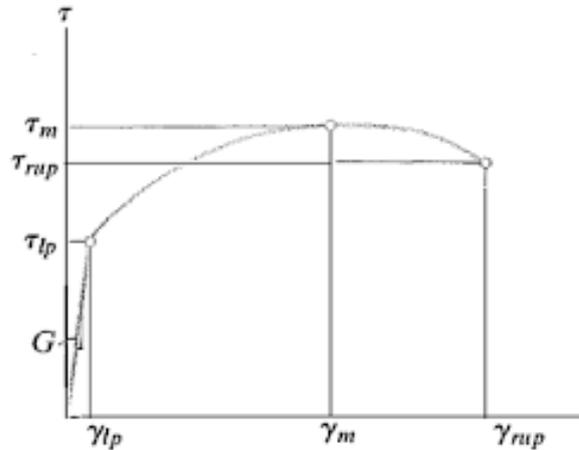
$$\varepsilon_{long} = \frac{\delta'}{r} . \quad (10)$$

A Equação (8) possui sinal negativo porque o alongamento longitudinal provoca uma contração lateral e vice-versa. Na Equação (10), a deformação lateral é a mesma em todas direções radiais (BEER et al., 2011).

2.1.13 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CISALHAMENTO

A deformação por cisalhamento representa a distorção angular do elemento em relação aos eixos iniciais em que se encontrava. O comportamento de um material sob esforços cisalhantes pode ser estudado por meio de corpos de prova submetidos à torção, podendo formar a partir de vários ensaios um diagrama tensão-deformação de cisalhamento. A Figura 10 mostra um diagrama tensão-deformação de cisalhamento para um material dúctil (NASH, 2014).

Figura 10: Diagrama tensão-deformação de cisalhamento.



Fonte: Retirado de Hibbeler (2010).

No diagrama tensão-deformação o material se comportará no regime elástico até o limite de proporcionalidade (τ_{lp}) e sofrerá, se a tensão aumentar, endurecimento por deformação até a tensão de cisalhamento máxima (τ_m), chegando a ruptura caso atingir o limite de tensão (τ_{rup}). A maioria dos materiais utilizados na engenharia civil trabalham no comportamento elástico linear e, portanto, a lei de Hooke pode ser expressa pela Equação (11), onde G é determinado pela Equação (12) (NASH, 2014).

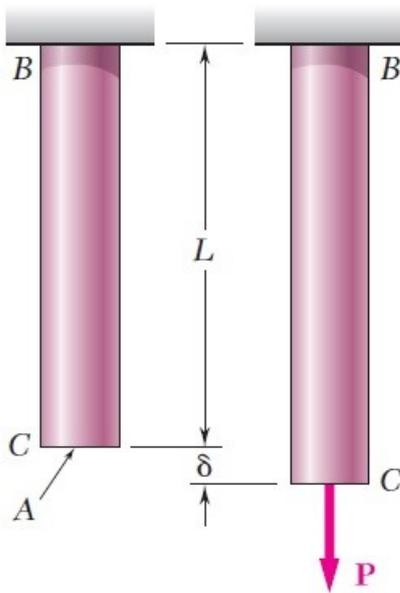
$$\gamma = \frac{G}{\tau} \cdot \quad (11)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (12)$$

2.1.14 DEFORMAÇÃO ELÁSTICA

Se uma barra homogênea BC com um comprimento L e seção transversal uniforme A for submetida a uma força axial centrada P , como na Figura 11, estiver no regime elástico, então a barra deformará conforme a Equação (13) (BEER et al., 2011).

Figura 11: Barra homogênea sujeita à força normal.



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

$$\delta = \frac{P \cdot L}{E \cdot A} . \quad (13)$$

Nos casos em que uma barra possui partes com seções transversais ou materiais diferentes, faz-se necessário dividir a barra em componentes que se encaixem na Equação (13), de forma que a deformação total será a soma de tais componentes, conforme descreve a Equação (14) (BEER et al., 2011).

$$\delta = \sum \frac{P \cdot L}{E \cdot A} . \quad (14)$$

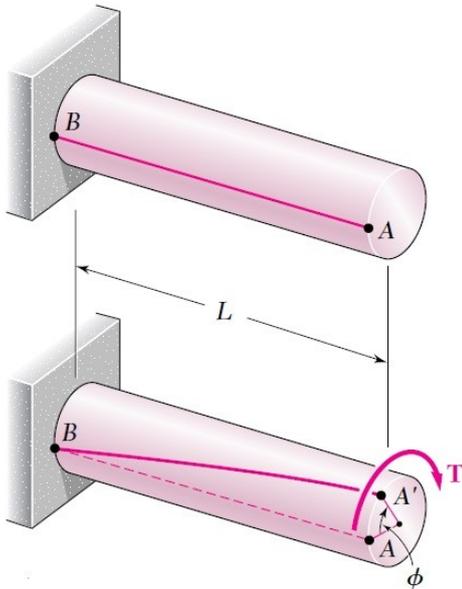
Vale ressaltar que caso a barra supere o limite de proporcionalidade, as equações não serão válidas, pois utilizam como princípio uma equação válida apenas no regime elástico, a lei de Hooke.

2.1.16 DEFORMAÇÃO POR TORÇÃO

Considerando uma barra de seção circular conectada a um suporte rígido em uma de suas extremidades, se um momento torçor for aplicado à extremidade oposta

a seu suporte rígido, a barra tende a sofrer rotação em sua extremidade livre, girando em um ângulo ϕ (phi), assim como ilustra a Figura 12 (HIBBELER, 2010).

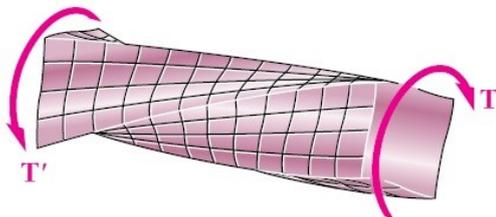
Figura 12: Efeitos da deformação por torção em uma barra circular.



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Quando uma barra circular é submetida apenas à torção, toda sua seção transversal permanece plana e indeformada, mas a situação é diferente para barras de seção transversal não circulares, nelas suas seções transversais empenam e não permanecem planas caso sejam submetidas à torção, assim como ilustra a Figura 13 (HIBBELER, 2010).

Figura 13: Barra de seção quadrada deformada por torção.

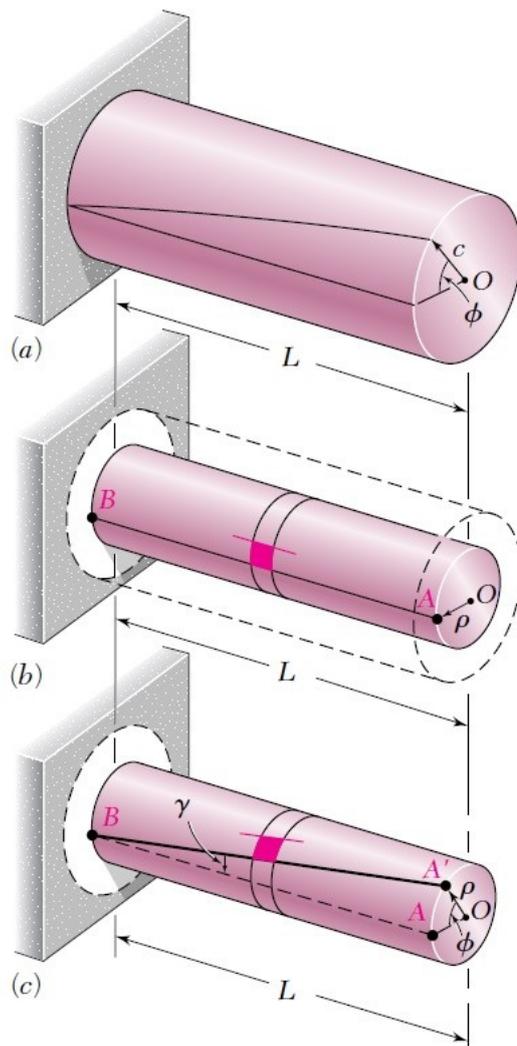


Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Devido à complexidade do comportamento de barras de seção não circulares quando deformadas devido à torção, as deduções iniciais sobre torção serão explicados nas seções circulares.

Para esclarecer a relação entre torção e barras circulares, considera-se uma barra de comprimento L e raio c , torcida através de um ângulo ϕ , conforme a Figura 14a. Destacando um cilindro, no interior da barra, de raio ρ (ρ), idealiza-se um quadrado formado por 2 círculos e 2 retas paralelas à barra e traçadas sob a superfície do cilindro sem que a torção esteja aplicada, como na Figura 14b. Após a aplicação da torção, o quadrado hipotético assume o formato de um losango, assim como na Figura 14c (BEER et al., 2011).

Figura 14: Comportamento de uma barra circular submetida torção.



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Portanto, pode-se afirmar que a deformação devido à torção descreve o comportamento da Equação (16) e que quando ρ for igual ao raio c , ocorrerá a deformação máxima, como descreve a Equação (17).

$$\gamma = \frac{\rho \cdot \phi}{L}. \quad (16)$$

$$\gamma_{m\acute{a}x} = \frac{c \cdot \phi}{L}. \quad (17)$$

Confirma-se, portanto, que a deformação por cisalhamento em determinado ponto de uma barra redonda em torção é proporcional a seu ângulo de torção.

2.1.17 TENSÕES CISALHANTES NO REGIME ELÁSTICO

Considerando a situação em que o torque aplicado em uma barra circular não gere tensões cisalhantes que excedam a tensão de escoamento, pode-se estabelecer a relação entre tensão e deformação descrita pela Equação (18) e conseqüentemente a descrita pela Equação (19) (NASH, 2014).

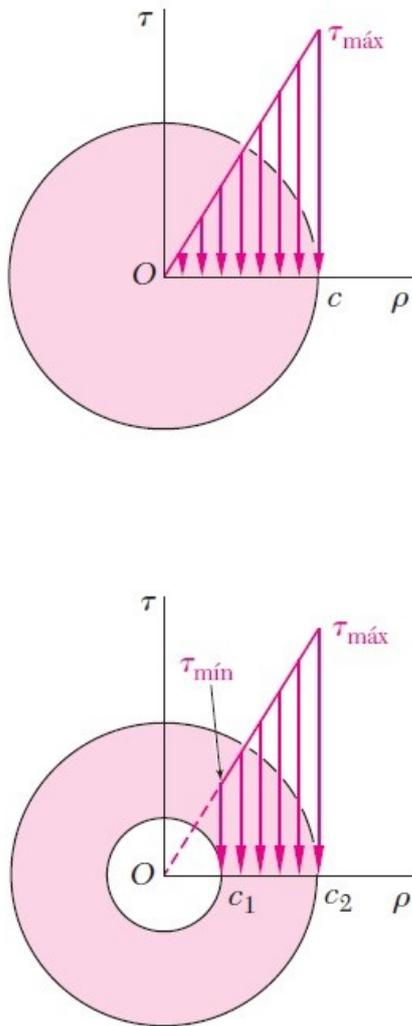
$$\tau = G \cdot \gamma. \quad (18)$$

$$\tau = \frac{\rho \cdot \tau_{m\acute{a}x}}{c}. \quad (19)$$

Na circunstância em que a seção circular é vazada com um raio interno c_1 e raio externo c_2 , a Equação (20) descreve o comportamento da tensão cisalhante. A Figura 15 mostra a diferença na tensão de uma barra circular cheia e uma vazada (BEER et al., 2011).

$$\tau_{m\acute{i}n} = \frac{c_1 \cdot \tau_{m\acute{a}x}}{c_2}. \quad (20)$$

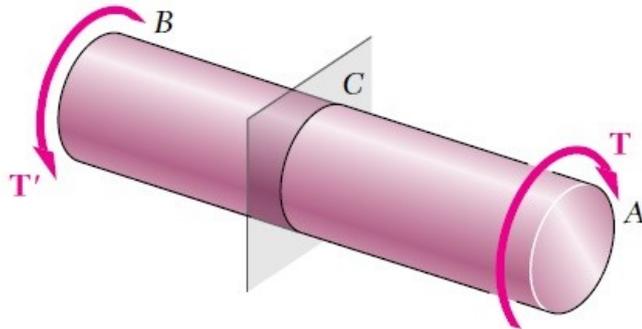
Figura 15: Tensão cisalhante em uma barra circular cheia e em uma vazada.



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Já no cenário em que há uma barra circular AB submetida em A e B torques iguais e opostos em suas extremidades, o diagrama de corpo livre da parte entre B e um plano que corta a barra em uma seção arbitrária C deve incluir as forças de cisalhamento elementares perpendiculares ao raio da barra, causadas pela parte AC da mesma barra quando ocorre a torção. A Figura 16 descreve as circunstâncias do cenário apresentado anteriormente (BEER et al., 2011).

Figura 16: Barra circular submetida a torques iguais e opostos nas extremidades



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

As condições de equilíbrio para a barra da Figura 16 requerem que o torque interno na seção C seja igual e oposto ao torque das extremidades, logo instituindo ρ como a distância perpendicular à força dF em relação ao eixo da barra e considerando que a soma dos momentos das forças cisalhantes dF em relação ao eixo da barra seja igual em intensidade ao torque T da extremidade da barra, obtêm-se a Equação (21) (BEER et al., 2011).

$$\int \rho \cdot dF = T. \quad (21)$$

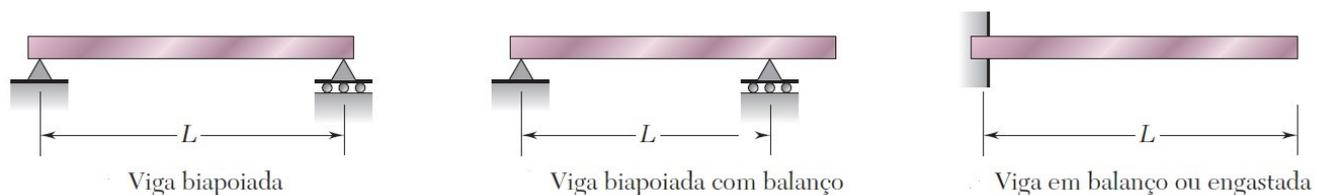
Os materiais dúcteis geralmente falham em cisalhamento, portanto quando são submetidos à torção, os corpos de prova constituídos de materiais dúcteis se rompem ao longo de um plano perpendicular ao seu eixo longitudinal. Isso resume porque o estudo das tensões cisalhantes possuem suma importância para o dimensionamento de barras (HIBBELER, 2010).

2.1.18 VIGAS

As vigas são elementos estruturais que suportam cargas que incidem perpendicularmente a seu eixo longitudinal. Em geral, as vigas possuem seção transversal constante e comprimento longo (HIBBELER, 2010).

A classificação das vigas ocorre pelas vinculações que possuem. Uma viga biapoiada possui um apoio fixo em uma extremidade e um apoio móvel na outra, uma viga em balanço possui apenas um engaste em uma extremidade e uma viga biapoiada com balanço possui uma ou ambas as extremidades que ultrapassam seus apoios fixo e móvel. A Figura 17 mostra os tipos de vigas estaticamente determinadas (BEER et al., 2011).

Figura 17: Tipos de vigas estaticamente determinadas



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Há casos onde as condições de contorno (número de vinculações) excedem determinado limite e são chamadas de estruturas estaticamente indeterminadas.

Neste trabalho são abordadas apenas as estruturas estaticamente determinadas, as estruturas isostáticas.

2.1.19 DIAGRAMAS DE FORÇA CORTANTE E MOMENTO FLETOR

Por causa dos carregamentos a que estão sujeitas, as vigas desenvolvem uma força cortante e um momento fletor internos que variam ao longo de seu comprimento longitudinal. Para projetar uma viga, é necessário conhecer a força cortante e o momento fletor máximos atuantes, já que são eles que vão definir os materiais e seus comprimentos necessários para resistir aos carregamentos solicitados (NASH, 2014).

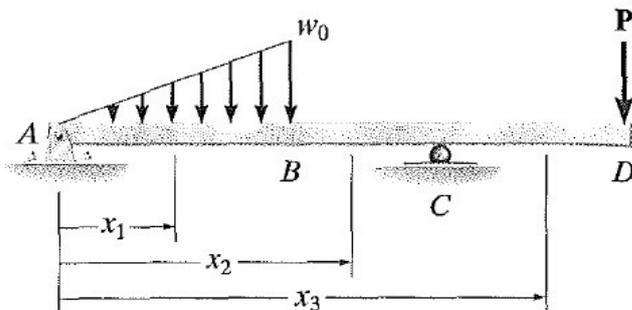
Um dos métodos para determinar os esforços máximos aos quais uma viga está sujeita é desenhar seus diagramas de força cortante e momento fletor, uma vez

que eles fornecem informações detalhadas da variação da força cortante e do momento fletor em forma de gráfico (HIBBELER, 2010).

Para determinar a força cortante e o momento fletor internos ao longo de uma viga, é necessário adotar uma seção imaginária a uma distância x da extremidade de uma das extremidades da viga. Geralmente, a extremidade escolhida para o cálculo é a esquerda e a direção positiva da distância x é da esquerda para direita (HIBBELER, 2010).

Na maioria dos casos, as funções de força cortante e momento fletor obtidas em função da distância da extremidade esquerda x serão descontínuas em pontos em que um carregamento distribuído incide ou onde há forças concentradas. Portanto, faz-se necessário criar funções de força cortante e momento para cada região da viga em que há quaisquer duas variações de carregamento. Por exemplo, na Figura 18, as coordenadas x_1 , x_2 e x_3 são necessárias para obter a variação de força cortante e momento fletor em função de todo o comprimento da viga e elas serão válidas somente dentro das regiões de A a B para x_1 de B a C para x_2 e de C a D para e x_3 (HIBBELER, 2010).

Figura 18: Viga biapojada com balanço e sujeita a dois tipos de carregamento



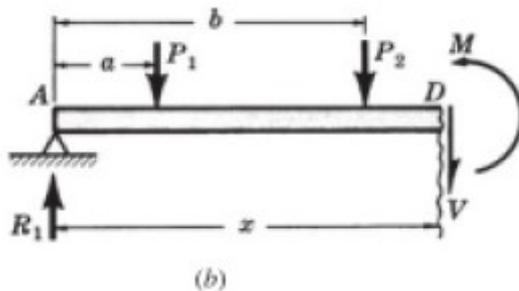
Fonte: Retirado de Hibbeler (2010).

Conclui-se que, para a maioria dos casos, para determinar os diagramas de momento fletor e de força cortante é necessária uma equação para cada trecho onde há a alteração no tipo de carregamento.

2.1.20 CONVENÇÃO DE SINAIS

Para padronizar os sinais dos diagramas de força cortante e de momento fletor, foram adotadas convenções de sinais, assim como indica a Figura 19.

Figura 19: Convenção de sinais para momento fletor e força cortante



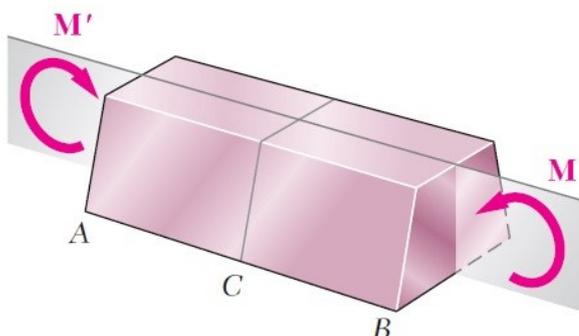
Fonte: Retirado de Nash (2014).

O momento fletor M é considerado positivo se o giro é no sentido anti-horário, e a força cortante é considerada positiva se a força V tem orientação no sentido do eixo “y” negativo.

2.1.21 ELEMENTOS SUBMETIDOS À FLEXÃO

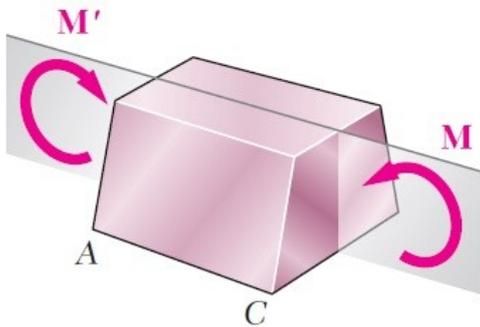
Suponha uma barra AB prismática simétrica e submetida a esforços M e M' iguais e opostos assim como mostra a Figura 20. Caso uma seção da barra AB seja cortada em um ponto C qualquer, existirá um esforço interno igual a M gerado pela parte AC da barra para que haja equilíbrio de esforços, assim como indica a Figura 21 (BEER et al., 2011).

Figura 20: Barra prismática sujeita à momentos conjugados



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

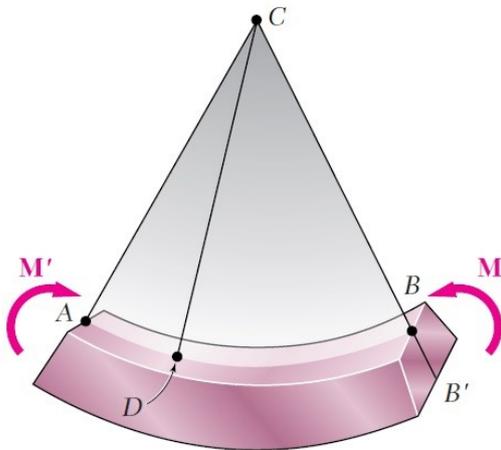
Figura 21: Barra prismática cortada em uma seção no ponto C



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Com relação às deformações da barra ilustrada na Figura 20, ocorrerá a flexão uniforme do elemento devido à ação dos momentos fletores, mas se manterá seu eixo de simetria, assim como ilustra a Figura 22 (BEER et al., 2011).

Figura 22: Elemento deformado devido à flexão



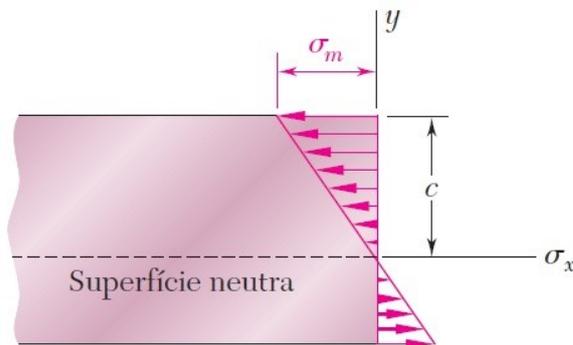
Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Baseando-se nas informações já observadas, é possível considerar três hipóteses. A primeira é que um eixo longitudinal central e perpendicular à atuação do momento não sofre alteração de comprimento. A segunda é que todas as seções transversais do elemento se mantêm planas e perpendiculares após a deformação. A terceira consiste em afirmar que qualquer deformidade da seção transversal dentro de seu plano pode ser desconsiderada (HIBBELER, 2010).

2.1.22 TENSÃO NO REGIME ELÁSTICO

Na situação em que o momento fletor máximo atuante em uma viga ocasiona uma tensão normal menor que a tensão de escoamento do material da viga, é possível afirmar que a distribuição da tensão normal ao longo da seção transversal da viga será semelhante à Figura 23 (BEER et al., 2011).

Figura 23: Distribuição linear da tensão normal



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

Deve-se ressaltar que, no regime elástico, a tensão normal varia linearmente com a distância da superfície neutra. Quando a peça não está sujeita a força normal, a superfície neutra, por sua vez, coincide com o eixo do centroide horizontal da seção da viga, ou seja, sabendo que o momento fletor é centrado na superfície neutra, pode-se estabelecer a relação descrita na Equação (22) para o elemento da Figura 23 (NASH, 2014).

$$\sigma = \pm \frac{M \cdot y}{I}. \quad (22)$$

A Equação (22) possui os sinais de mais e de menos porque a tensão em um ponto da seção depende do sinal do momento fletor atuante nela. Por convenção, se o momento tracionar o lado positivo do eixo y de uma seção, então o sinal de mais deve ser utilizado. Por outro lado, se o momento tracionar o lado negativo do eixo y então o sinal de menos deve ser utilizado (HIBBELER, 2010).

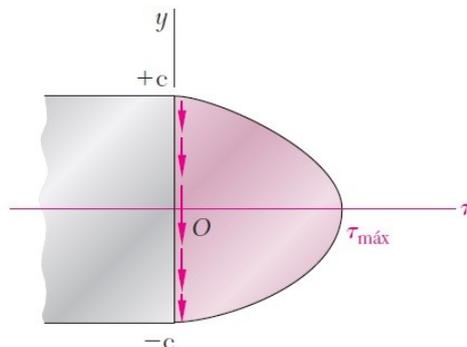
2.1.23 DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES DE CISALHAMENTO EM UMA VIGA

Considerando uma viga com plano vertical de simetria, sujeita a diversas cargas concentradas e distribuídas. Pode-se dizer que sua tensão de cisalhamento média em um ponto qualquer de sua seção transversal pode ser obtida através da Equação (23) (HIBBELER, 2010).

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}. \quad (23)$$

Resumidamente, o cisalhamento é resultado da multiplicação da força cortante atuando em um ponto longitudinal da viga e do momento estático de um ponto interno da seção divididos pela Inércia da seção transversal e pela largura da seção transversal no mesmo ponto. A Figura 24 mostra o diagrama de tensão cisalhante para uma viga padrão de seção retangular (BEER et al., 2011).

Figura 24: Distribuição linear da tensão cisalhante



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

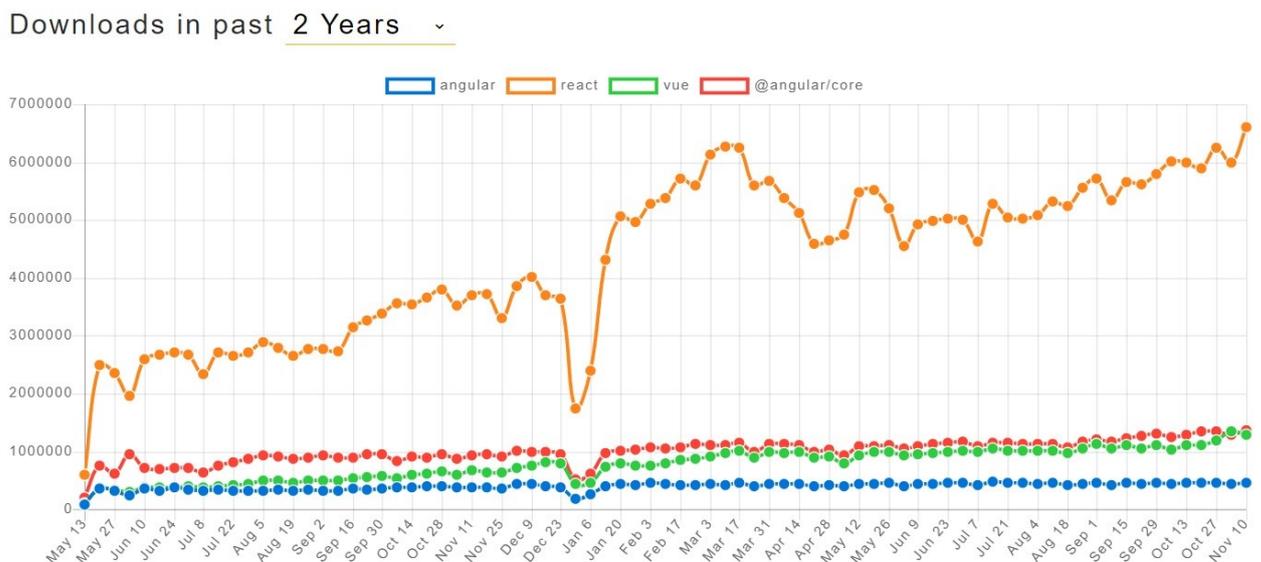
A partir do diagrama pode se observar que ao contrário da tensão normal, a tensão cisalhante é nula nas extremidades verticais da seção transversal e máxima no centroide da peça.

2.2 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

2.2.1 CREATE REACT APP

Create React App é uma linguagem de programação criada em 2011 pela empresa Facebook para a construção de elementos gráficos, de formatação e de lógica em sites em uma mesma linguagem de programação. Ela ganhou notoriedade, principalmente, no ano de 2017 para o desenvolvimento de aplicativos para celulares e sites, assim como informa o gráfico da Figura 25. Baseada na linguagem de programação Javascript, ela permite a criação eficiente e flexível da interface de usuário (CARVALHO, 2017).

Figura 25: Comparação no número de downloads de bibliotecas para programação.



Fonte: Potter (2019).

A vantagem principal para usar o Create React App é a grande quantidade de conteúdo gratuito disponibilizado para ajudar na criação de um aplicativo, principalmente, para dispositivos móveis.

O código do Create React App pode ser programado em qualquer documento de texto, mas é vantajoso utilizar o aplicativo Visual Studio Code porque ele mostra as funções disponíveis do Create React App, organiza o código para melhor visualização e avisa quando a sintaxe de algum trecho do código apresenta inconsistência.

2.2.2 JAVASCRIPT

JavaScript é uma linguagem de programação que possibilita a elaboração de elementos interativos em aplicativos para celulares ou para a internet. Geralmente, quando um site mostra um conteúdo que se atualiza em um intervalo de tempo, mapas interativos ou gráficos 2D/3D interativos, o JavaScript provavelmente está envolvido (MOZILLA, 2019).

2.2.3 HTML

HTML é uma linguagem de formatação utilizada para criar a estrutura de um site, por exemplo, criar parágrafos, cabeçalhos, tabelas de conteúdo, imagens e vídeos em um aplicativo (MOZILLA, 2019).

2.2.4 CSS

CSS é uma linguagem de programação que muda o visual de um elemento criado pela linguagem de formatação HTML, por exemplo, as cores de fundo e fontes, e posição do conteúdo são programados pelo CSS (MOZILLA, 2019).

2.2.5 VISUAL STUDIO CODE

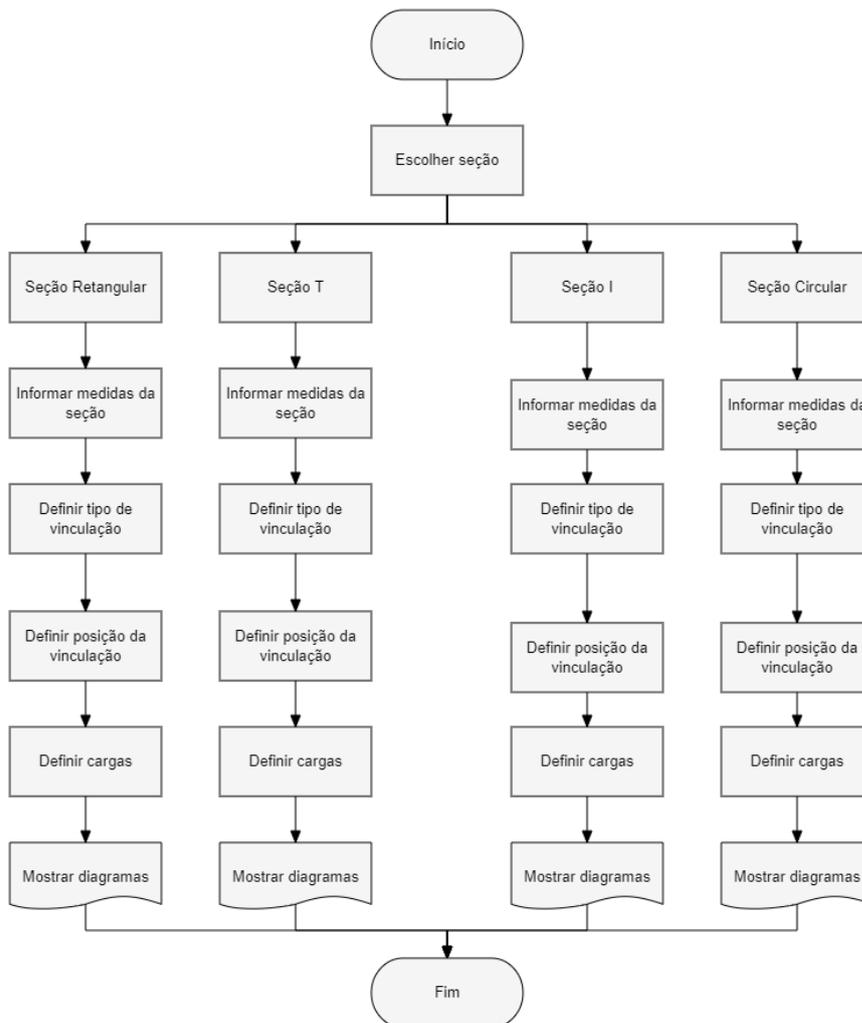
O Visual Studio Code é um editor de texto gratuito criado pela Microsoft para os sistemas operacionais Windows, Linux e MacOs. Ele permite realçar o código de mais de 20 linguagens, mostrando de forma automática possíveis sintaxes erradas e tabulando automaticamente o texto para melhor visualização (MOZILLA, 2019).

3 METODOLOGIA

3.1 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

O modelo de cálculo do presente aplicativo possibilita, a partir de uma seção retangular, T, I ou circular e das cargas estipuladas pelo usuário calcular a tensão normal média gerada pelo momento máximo em uma viga e a tensão cisalhante gerada pela força cortante máxima na mesma viga. O fluxograma ilustrado na Figura 26 mostra as etapas pelas quais um usuário passa no aplicativo para obter, como resultado, os diagramas de força cortante, de momento fletor e de tensão normal média.

Figura 26: Fluxograma do funcionamento do aplicativo para o usuário.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.2 CRIAÇÃO DA INTERFACE

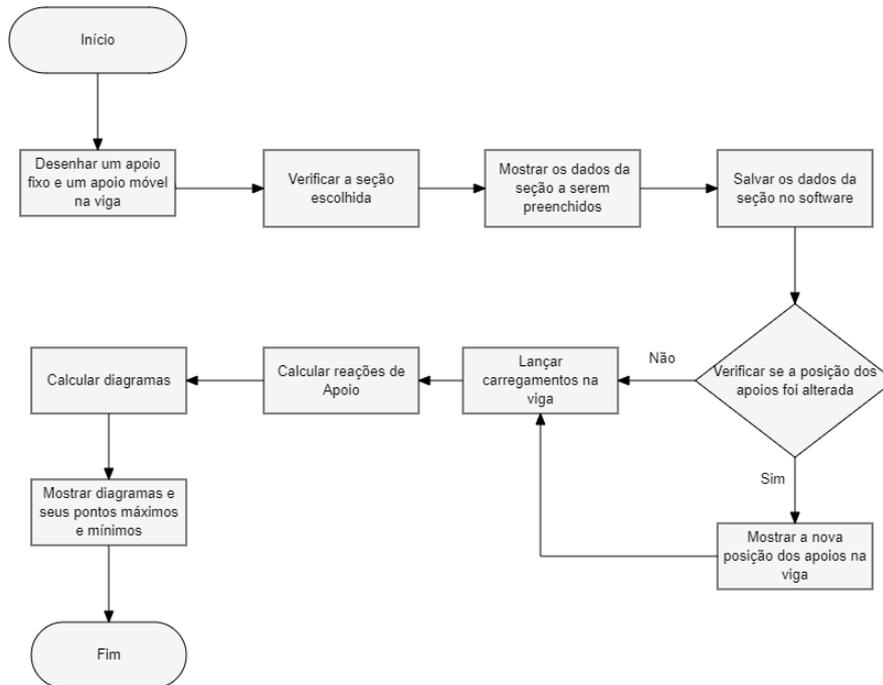
A criação da interface se deu por meio das linguagens de formatação HTML e CSS no aplicativo Visual Studio Code, derivado do aplicativo Visual Studio da Microsoft e se resume em três etapas:

- 1ª etapa: Criação e formatação de botões e janelas para a interação do usuário com o aplicativo.
- 2ª etapa: Interação dos objetos do aplicativo com os dados digitados pelo usuário.
- 3ª etapa: Realização da consistência dos dados para evitar o usuário de cometer erros que comprometam a experiência do usuário com o aplicativo.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DE ROTEIROS DE CÁLCULO

Nessa etapa, foram realizadas as operações com as variáveis, que são obtidas através do usuário, com os elementos gráficos, utilizando as fórmulas conhecidas de resistência dos materiais para fornecer os diagramas de força cortante, momento fletor e tensão normal na viga idealizada pelo usuário. O fluxograma da Figura 26 descreve o comportamento do aplicativo para fornecer os dados dos diagramas.

Figura 27: Fluxograma do roteiro de cálculo do aplicativo.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.4 VALIDAÇÃO DOS DADOS DO APLICATIVO

Para confirmar a veracidade e precisão dos resultados do aplicativo, os valores gerados pelo programa foram comparados com exercícios resolvidos que estão no apêndice A deste trabalho.

3.5 LIMITAÇÕES DO APLICATIVO

O presente aplicativo resolve apenas vigas isostáticas horizontais com seção retangular, I, T ou circular e sem rótulas. Além disso, o aplicativo fornece apenas a possibilidade de incidência de momentos pontuais, forças pontuais e forças distribuídas.

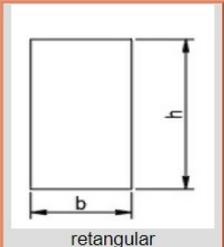
4 RESULTADOS

Como decorrência deste trabalho, obteve-se um aplicativo capaz de calcular diagramas de momento fletor, de força cortante, tensão normal e tensão cisalhante para vigas isostáticas.

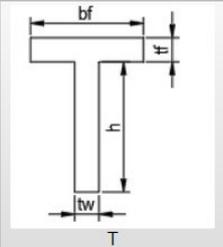
Inicialmente, o usuário deve escolher e informar os dados de uma entre as seções transversais retangular, I, T ou circular, além do comprimento da viga. As Figuras 28, 29, 30 e 31 mostram as interfaces do aplicativo para a inserção dos dados da seção para cada tipo de seção escolhida.

Figura 28: Tela de interface do aplicativo para a opção de seção retangular.

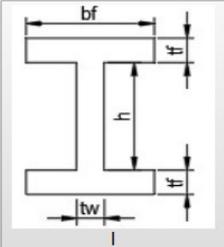
Cálculo de tensões em vigas



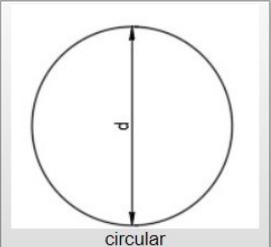
retangular



T



I



circular

Digite a altura da seção transversal em centímetros(h):

Digite a largura da seção transversal em centímetros(b):

Digite o comprimento da viga em metros:

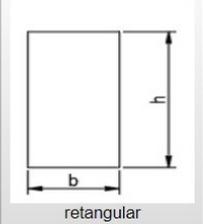
VIGA



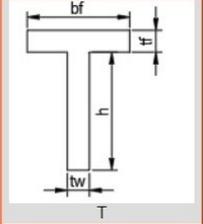
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 29: Tela de interface do aplicativo para a opção de seção T.

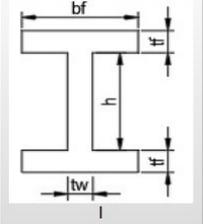
Cálculo de tensões em vigas



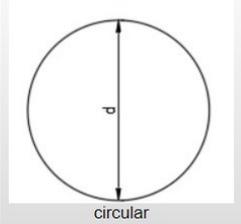
retangular



T



I



circular

Digite a altura da mesa em centímetros(tf):

Digite a largura da mesa em centímetros(bf):

Digite a altura da alma em centímetros(h):

Digite a largura da alma em centímetros(tw):

Digite o comprimento da viga em metros:

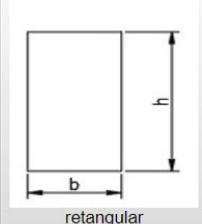
VIGA



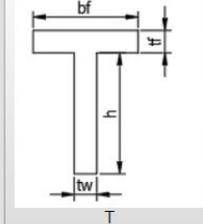
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 30: Tela de interface do aplicativo para a opção de seção I.

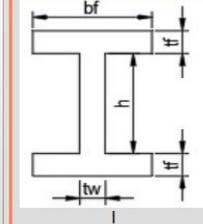
Cálculo de tensões em vigas



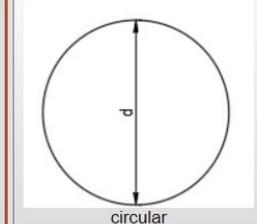
retangular



T



I



circular

Digite a altura da mesa em centímetros(tf):

Digite a largura da mesa em centímetros(bf):

Digite a altura da alma em centímetros(h):

Digite a largura da alma em centímetros(tw):

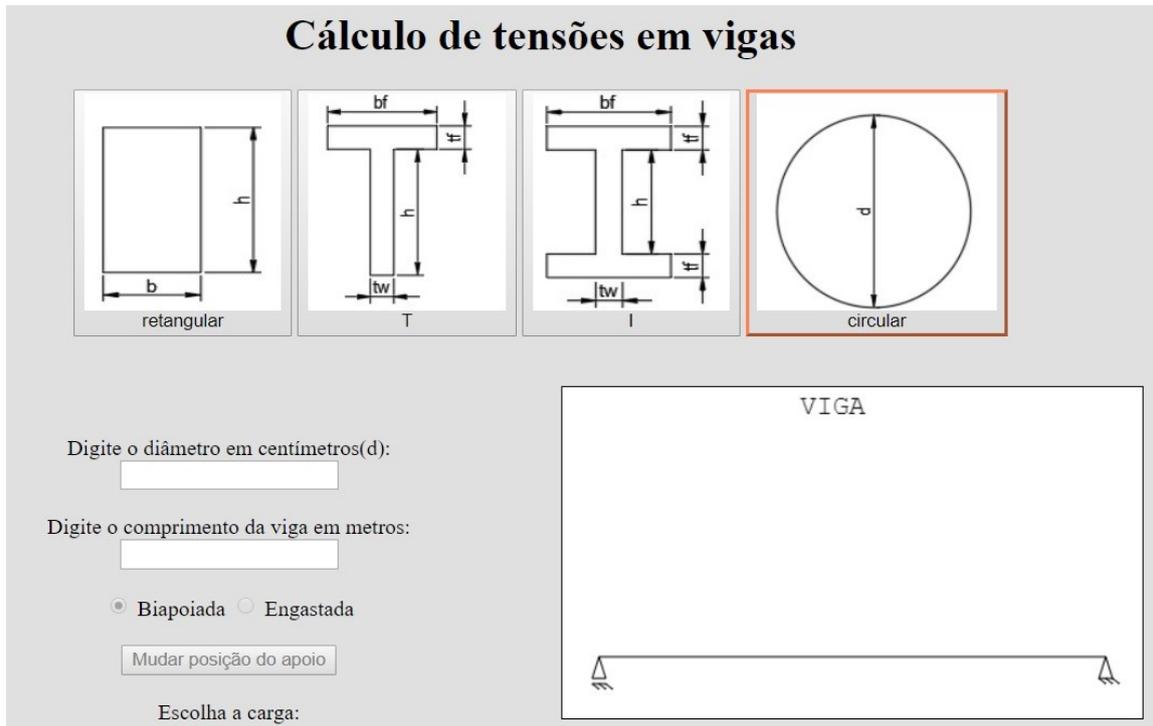
Digite o comprimento da viga em metros:

VIGA



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 31: Tela de interface do aplicativo para a opção de seção circular.

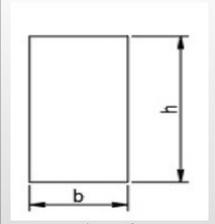


Fonte: Autoria própria (2019).

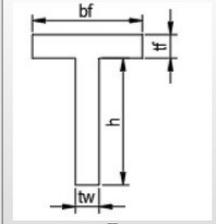
Em seguida, após o usuário digitar as informações da seção, ele será direcionado a digitar as informações da vinculação da viga. Como padrão, o aplicativo coloca a viga como biapoiada e então o usuário deve informar se deseja mudar a posição dos apoios ou mudar a vinculação para engastada. As figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 e 40 mostram a interface de mudança de vinculação e seu resultado no aplicativo.

Figura 32: Interface do aplicativo para a vinculação inicial biapoada.

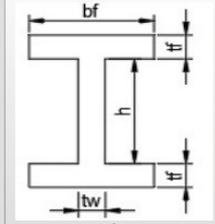
Cálculo de tensões em vigas



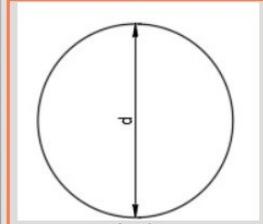
retangular



T



I



circular

Digite o diâmetro em centímetros(d):

Digite o comprimento da viga em metros:

Biapoada Engastada

VIGA

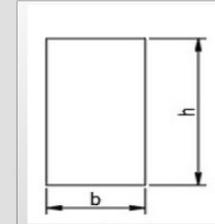


DIAGRAMA DE CORTANTE (kN)

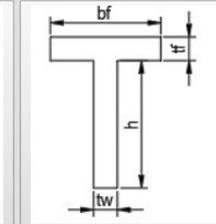
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 33: Interface do aplicativo para a vinculação engastada.

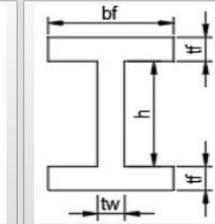
Cálculo de tensões em vigas



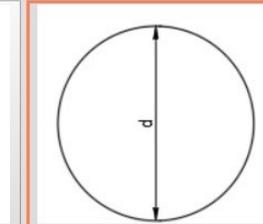
retangular



T



I



circular

Digite o diâmetro em centímetros(d):

Digite o comprimento da viga em metros:

Biapoada Engastada

Escolha a carga:

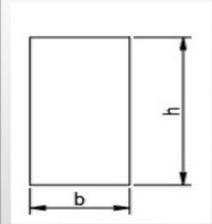
VIGA



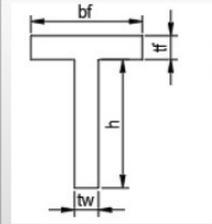
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 34: Posição do engaste na viga após clicar no botão mudar posição de apoio.

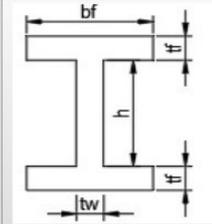
Cálculo de tensões em vigas



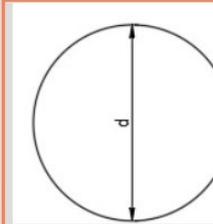
retangular



T



I



circular

Digite o diâmetro em centímetros(d):

Digite o comprimento da viga em metros:

Biapoiada Engastada

Escolha a carga:

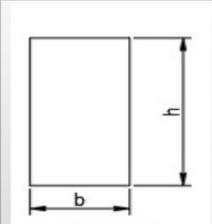
VIGA



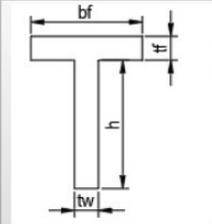
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 35: Posição do engaste na viga após clicar no botão mudar posição de apoio.

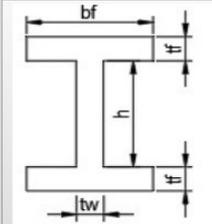
Cálculo de tensões em vigas



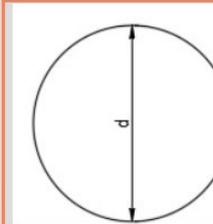
retangular



T



I



circular

Digite o diâmetro em centímetros(d):

Digite o comprimento da viga em metros:

Biapoiada Engastada

Escolha a carga:

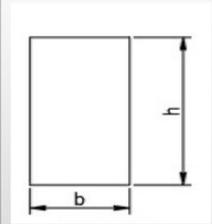
VIGA



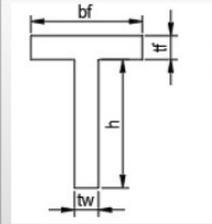
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 36: Posição do engaste na viga após clicar no botão mudar posição de apoio.

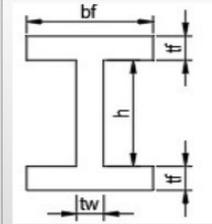
Cálculo de tensões em vigas



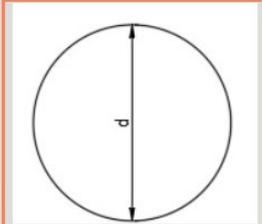
retangular



T



I



circular

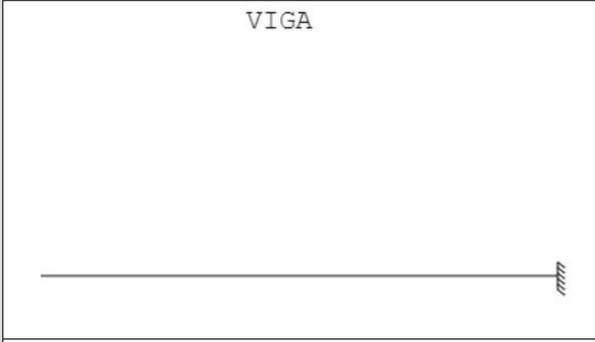
Digite o diâmetro em centímetros(d):

Digite o comprimento da viga em metros:

Biapoiada
 Engastada

Escolha a carga:

VIGA



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 37: Primeira janela para mudar a posição dos apoios na opção biapoiada.

digite 1 para mudar o apoio móvel e 2 para mudar o fixo

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 38: Janela para escolher a nova posição do apoio móvel

digite a nova posição do apoio móvel em metros

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 39: Janela para escolher a nova posição do fixo

digite a nova posição do apoio fixo em metros

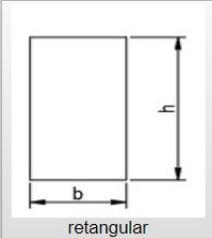
1|

OK Cancelar

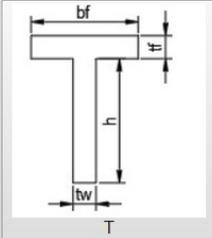
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 40: Resultado após uma mudança na posição do apoio fixo

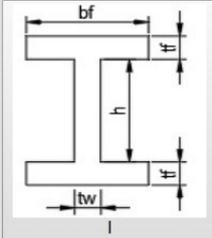
Cálculo de tensões em vigas



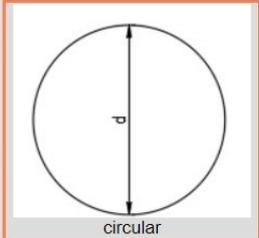
retangular



T



I



circular

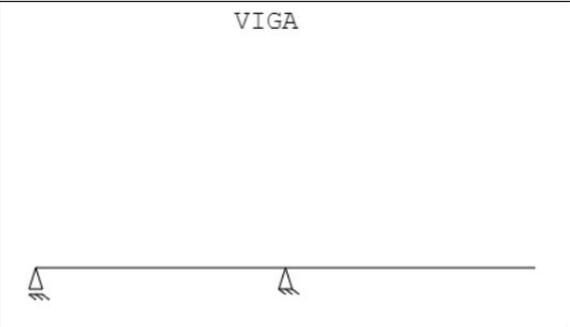
Digite o diâmetro em centímetros(d):

Digite o comprimento da viga em metros:

Biapoiada Engastada

Escolha a carga:

VIGA



Fonte: Autoria própria (2019).

Caso o usuário aperte o botão para mudar a posição do apoio e a opção de vinculação engastada estiver selecionada, então o engaste mudará a extremidade da viga em que está apoiado. Caso o usuário aperte o botão para mudar a posição do apoio com a opção biapoiada selecionada, o programa irá pedir para o usuário digitar qual apoio será modificado e qual será a nova coordenada do apoio escolhido.

Após definir as vinculações na viga o usuário deve escolher as cargas as quais a viga está sujeita, podendo escolher entre adicionar cargas pontuais, momentos pontuais, cargas distribuídas retangulares e cargas distribuídas triangulares e após definir o local e a intensidade das cargas o aplicativo as lança na viga. A Figura 41 mostra a interface do aplicativo para adicionar cargas à viga e a Figura 42 mostra a viga após uma carga retangular ser adicionada.

Figura 41: Interface com os campos para colocar cargas na viga

Digite o diâmetro em centímetros(d):
12

Digite o comprimento da viga em metros:
2

Biapoiada Engastada

Mudar posição do apoio

Escolha a carga:
Retangular

Digite o valor da carga em kN/m(para baixo como positivo):
24

Lançar carga

VIGA

DIAGRAMA DE CORTANTE (kN)

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 42: Viga apos o lançamento da carga distribuída

Digite o diâmetro em centímetros(d):

Digite o comprimento da viga em metros:

Biapoiada Engastada

Escolha a carga:

Digite o valor da carga em kN/m(para baixo como positivo):

VIGA

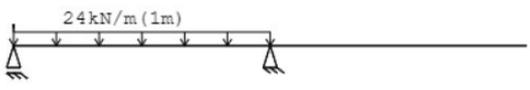


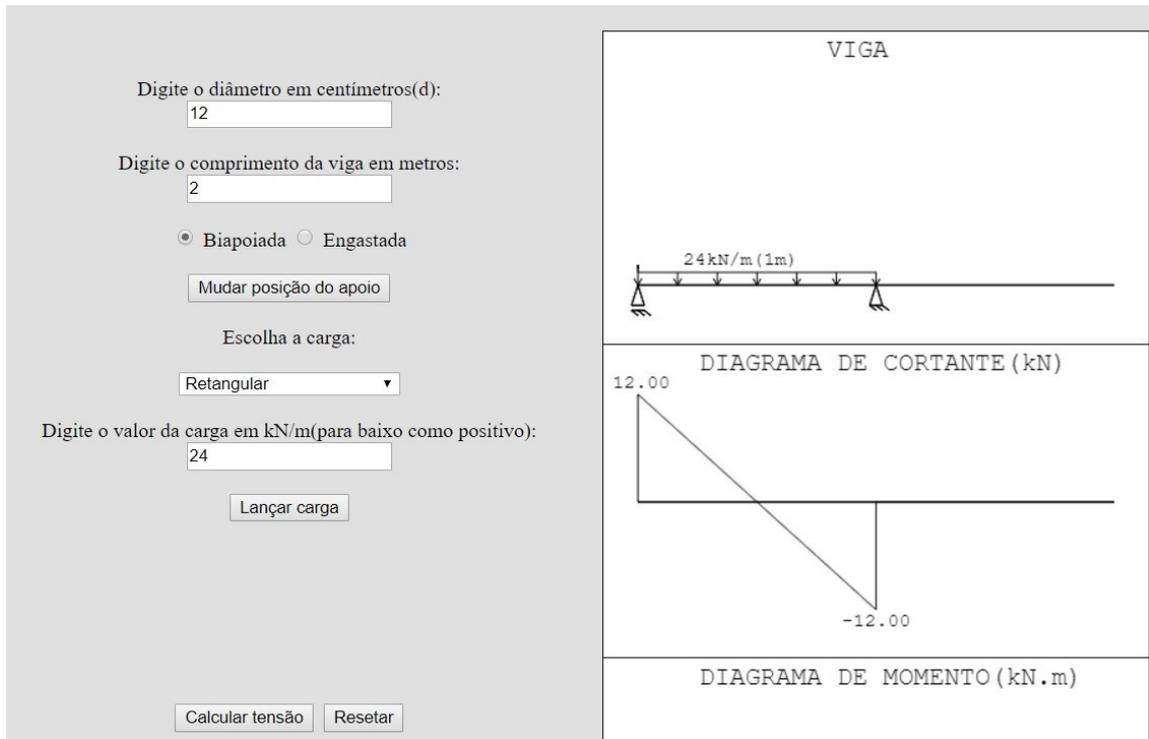
DIAGRAMA DE CORTANTE (kN)

Fonte: Autoria própria (2019).

Após o usuário digitar a intensidade da carga e apertar o botão lançar carga o aplicativo desenha a carga na viga, colocando então a intensidade da carga e o comprimento da carga.

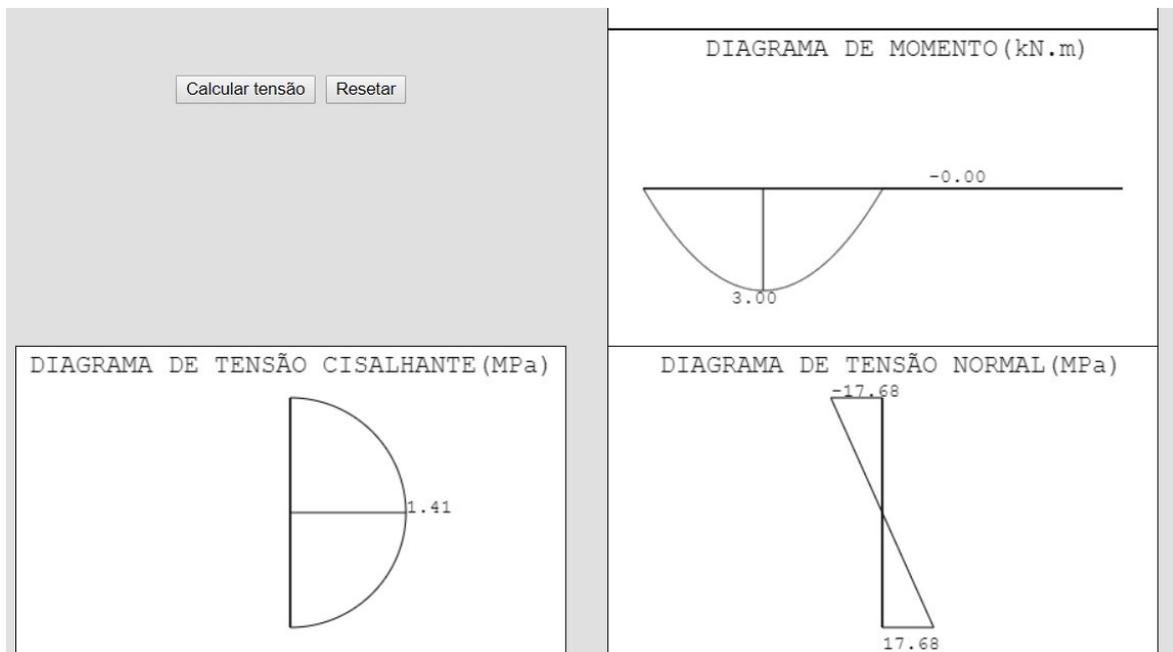
Por fim, após todas as cargas serem lançadas na viga o usuário pode clicar no botão calcular tensão e então o aplicativo mostrará os diagramas de força cortante, momento fletor, tensão normal e tensão cisalhante. O diagrama de tensão normal mostrado será calculado a partir do momento máximo em módulo do diagrama de momento fletor. As Figuras 44 e 45 mostram a interface do aplicativo após o usuário clicar no botão calcular tensão na viga da Figura 43.

Figura 43: Diagrama de força cortante gerado pelo aplicativo



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 44: Diagramas de momento fletor ,tensão normal e tensão cisalhante.



Fonte: Autoria própria (2019).

O diagrama de tensão normal mostra a tensão de compressão como negativa e a tensão de tração como positiva. O diagrama de tensão cisalhante considera sempre a tensão como positiva.

Como a linguagem utilizada no aplicativo segue o padrão americano, as casas decimais dos números devem ser digitadas com ponto final e não com vírgula, entretanto há uma rotina no aplicativo que transforma a vírgula em ponto final. Há também uma rotina para apagar imediatamente uma letra se ela for digitada. Ambas as rotinas citadas nesse parágrafo se encontram no apêndice B deste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o trabalho alcançou seu objetivo, construir um aplicativo capaz de auxiliar no cálculo diagramas de momento fletor, de força cortante, de tensão normal e de tensão cisalhante da disciplina de resistência dos materiais.

Os resultados do aplicativo possuem precisão de duas casas decimais, se comparado com o software Ftool, e com exercícios resolvidos do livro Hibbeler 7ª edição, fato que garante confiabilidade dos resultados do aplicativo.

Na área de programação é comum que haja o aperfeiçoamento do aplicativo. Assim sendo, propõe-se que em trabalhos posteriores haja um incremento no aplicativo, de forma que ele possa incluir perfis de seção transversal com dupla cantoneira e que possa calcular deformações de vigas, linha elástica, deformações geradas por torção e diagramas de vigas rotuladas, além da correção de possíveis falhas encontradas pelos usuários ao usarem.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Cid Rodrigues De. Proposta e desenvolvimento de aplicativo móvel de representação. São Paulo, 2013.
- BARROS, Carolina. APO - Introdução aos materiais de construção e normalização. **Materiais de Construção**, São Paulo, p. 1–6, 2000.
- BEER, Ferdinand P. et al. **MECÂNICA DOS MATERIAIS**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2011.
- CARVALHO, Thales. **React: o que é e como funciona essa ferramenta?** 2017. Disponível em: <<https://medium.com/reactbrasil/react-o-que-é-e-como-funciona-essa-ferramenta-319922a8371c>>. Acesso em: 9 nov. 2019.
- HIBBELER, Russel Charles. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2010.
- MARTHA, Luiz Fernando. Tensões associadas a esforços internos. São Paulo, p. 32–46, 2002.
- MOZILLA. **O que é JavaScript?** 2019. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Learn/JavaScript/First_steps/O_que_e_JavaScript>. Acesso em: 9 nov. 2019.
- NASH, W. A. **Resistência dos Materiais**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda., 2014.
- NAVARRO, R. F. A Evolução dos Materiais. Parte1: da Pré-história ao Início da Era Moderna. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 1, n. 1, p. 1–11, 2006. Disponível em: <www.dema.ufcg.edu.br/revista>
- POTTER, John. **angular vs react vs vue vs @angular/core**. 2019. Disponível em: <<https://www.npmtrends.com/angular-vs-react-vs-vue-vs-@angular/core>>. Acesso em: 9 nov. 2019.
- SILVA, L. M. F.; PINTO, M. G.; SUBRAMANIAN, A. Utilizando o software Arena como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVII ENEGEP 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo Disponível em: <http://www.fecilcam.br/anais/xxvii_eepa/data/uploads/3-pesquisa-operacional/3-04.pdf>
- ZIMMERMANN, Cláudio Cesar et al. Análise Estatística Dos Fenômenos De

Reprovação E Evasão No Curso De Graduação Em Engenharia Civil Da Universidade Federal De Santa Catarina. In: XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA 2011, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/sexoestec/art2057.pdf>>

APÊNDICE A – EXEMPLOS PARA A VALIDAÇÃO DO APLICATIVO

Exemplo1: Considere uma viga biapoiada de madeira de 2 metros de vão, com uma seção transversal retangular de 10 x 30 cm, sujeita a uma carga uniformemente distribuída de 30 kN/m.

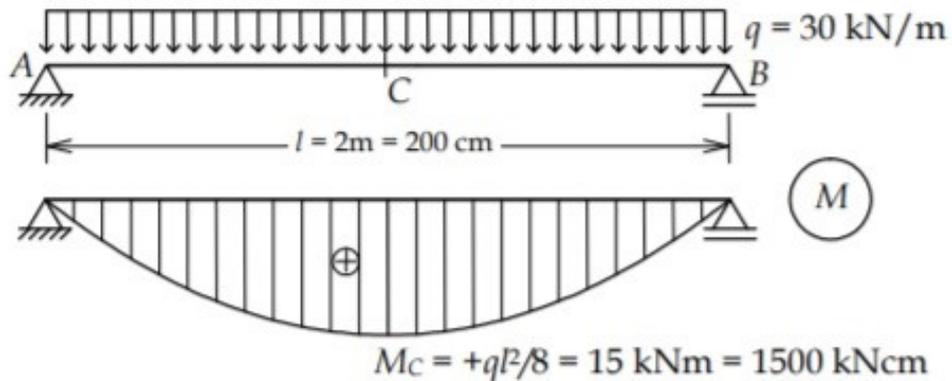


Figura A.1 – Exemplo de viga e seu diagrama de momento fletor

Fonte: Martha (2002).

O momento fletor máximo na viga ocorre na seção central C e o valor é $M_C = +1500\text{ kNcm}$ (tracionando as fibras inferiores). As tensões normais máximas ocorrem na seção central, pois correspondem ao valor máximo do momento fletor. Como a seção é retangular, a tensão no bordo inferior (de tração) é igual em módulo à tensão no bordo superior (de compressão).

Os valores das tensões máximas dependem do posicionamento da seção transversal. Duas situações serão estudadas: viga em pé e viga deitada.

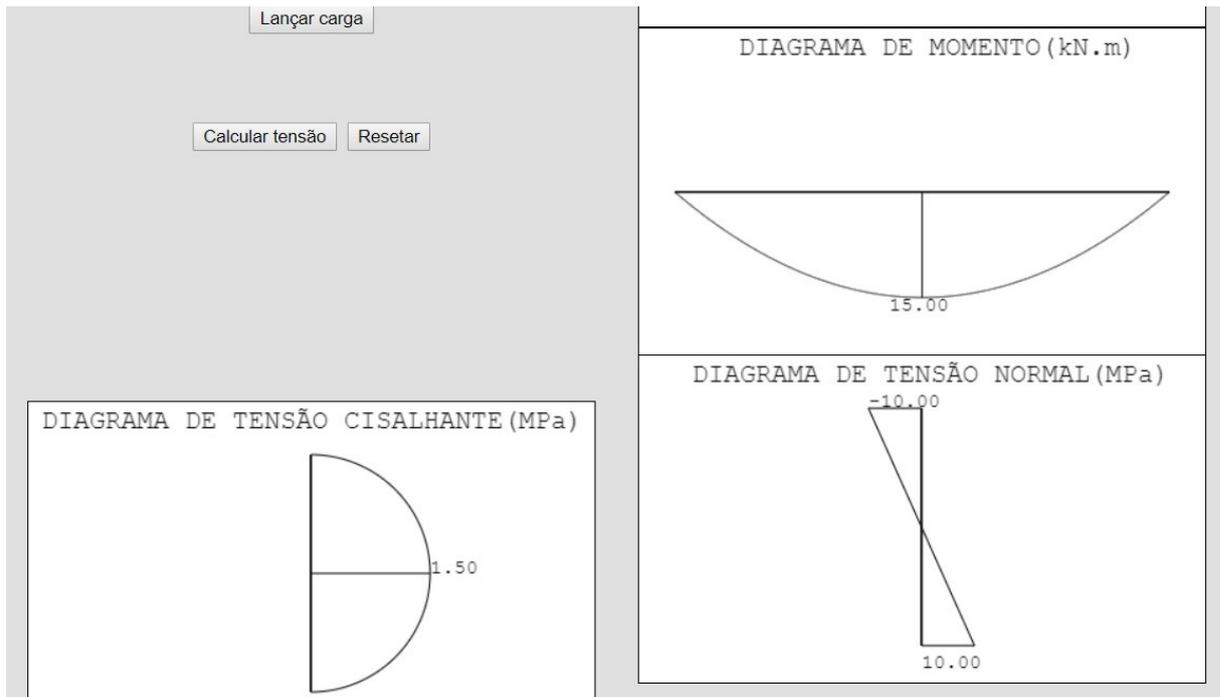
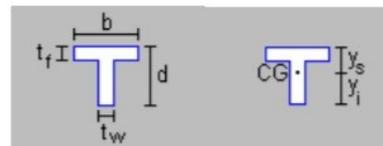
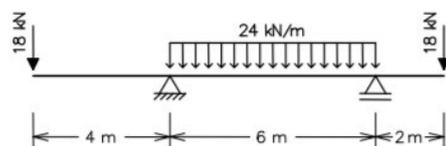


Figura A.4 – Resultado de diagrama de momento fletor e tensão normal (Exemplo 1)

Fonte: Autoria própria (2019).

Exemplo2: Considere a viga mostrada abaixo. A seção transversal também está indicada.



Os parâmetros que definem as dimensões da seção transversal são:

- $d = 50$ cm (altura da seção)
- $t_w = 12$ cm (largura da alma)
- $b = 40$ cm (largura da mesa)
- $t_f = 10$ cm (espessura da mesa)

O momento de inércia e as distâncias dos bordos ao centro de gravidade são:

- $I = 203697$ cm⁴
- $y_i = 31.4$ cm
- $y_s = 18.6$ cm

Figura A.5 – Exemplo de viga seção T com cargas

Fonte: Martha (2002).

O diagrama de momentos fletores da viga está mostrado abaixo, sendo que o momento fletor máximo positivo é $MC = + 54.75$ kNm = + 5475 kNcm e o momento fletor máximo negativo é $MB = - 72$ kNm = - 7200 kNcm:

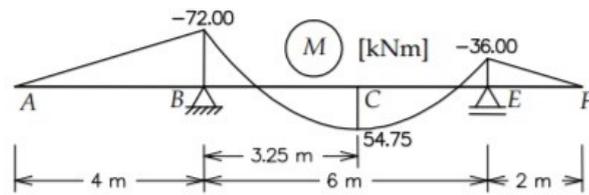


Figura A.6 – Diagrama de momento fletor da viga da Figura A.5

Fonte: Martha (2002).

Tensões normais na seção B:

$$\sigma_s = -\frac{M_B \cdot y_s}{I} = -\frac{-7200 \cdot 18,6}{203697} = +0,66 \text{ kN/cm}^2 = +6,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_i = \frac{M_B \cdot y_i}{I} = \frac{-7200 \cdot 31,4}{203697} = -1,11 \text{ kN/cm}^2 = -11,1 \text{ MPa}$$

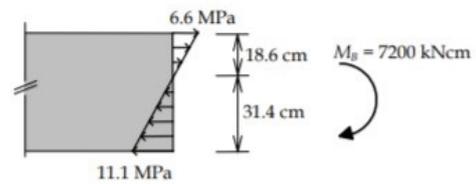


Figura A.7 – Cálculo do diagrama de tensão normal da viga da Figura A.7

Fonte: Martha (2002).

Utilizando o presente aplicativo o resultado obtido foi:

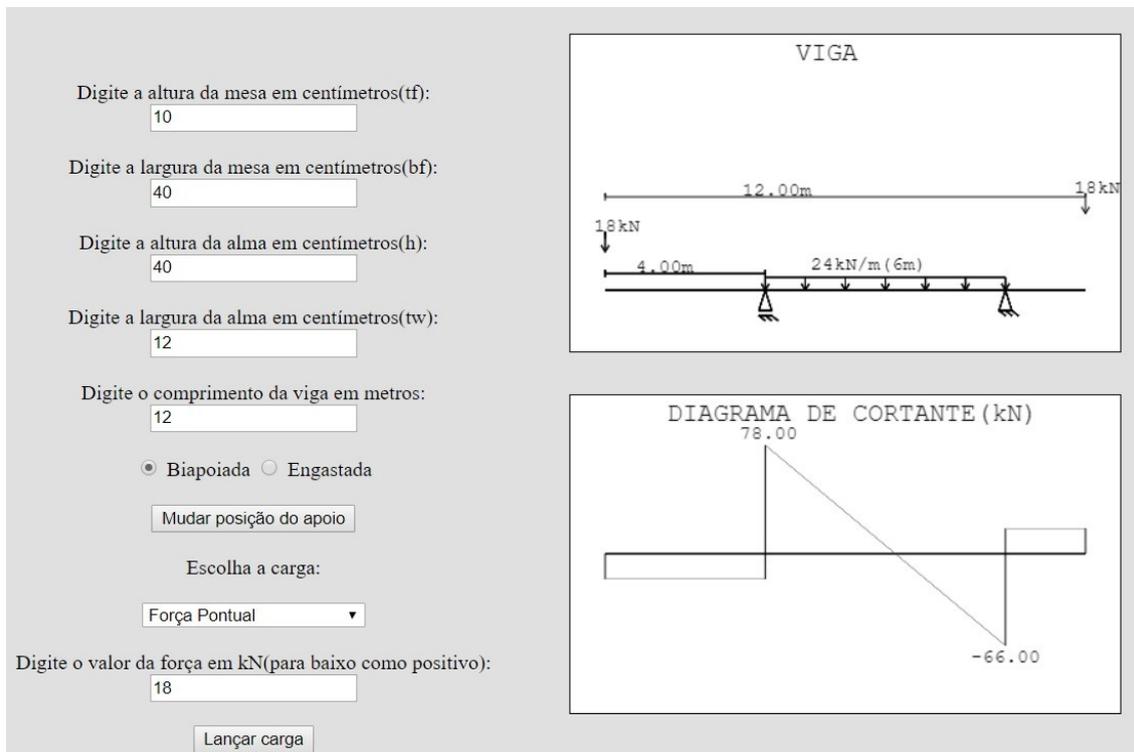


Figura A.8 – Resultado de diagrama de força cortante (Exemplo 2)

Fonte: Autoria própria (2019).

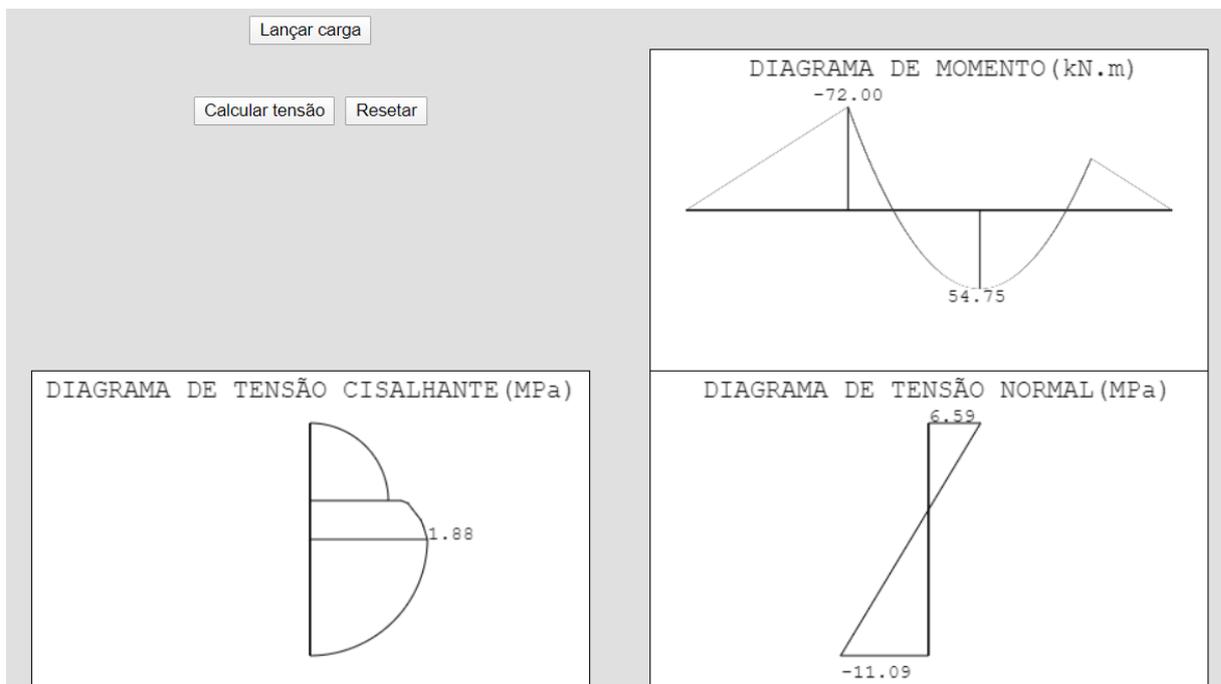


Figura A.9 – Resultado de diagrama de momento fletor e tensão normal (Exemplo 2)

Fonte: Autoria própria (2019).

Vale ressaltar que há uma diferença de 0,2 na tensão final do exemplo com o aplicativo porque o exemplo trabalha com apenas uma casa decimal nas distâncias entre o centroide da peça e a extremidade da seção, enquanto o aplicativo trabalha com 12 casas decimais no cálculo.

APÊNDICE B – CÓDIGO PARA IMPEDIR A DIGITAÇÃO DE LETRAS PELO USUÁRIO E PARA SUBSTITUIR O CARACTERE VIRGULA POR PONTO

```
function consistencia(texto){
    var subst=document.getElementById(texto).value.replace(",",".");
    if(isNaN(parseFloat(subst[subst.length-1])) && subst[subst.length-1]!=","
    && subst[subst.length-1]!="."){
        subst=subst.substring(0,(subst.length - 1));
    }
    document.getElementById(texto).value=subst;
}
```

O aplicativo se encontra no site www.testerm1.surge.sh para download ou uso na página.