

NORMAS PARA ELABORAÇÃO E ENTREGA DO RELATÓRIO DE ATIVIDADE PRÁTICA

Olá, estudante. Tudo bem?

As atividades práticas visam desenvolver competências para a atuação profissional. Elas são importantes para que você vivencie situações que te prepararão para o mercado de trabalho.

Por isso, trazemos informações para que você possa realizar as atividades propostas com êxito.

1. Que atividade deverá ser feita?

- A(s) atividades a ser(em) realizada(s) estão descritas no Roteiro de Atividade Prática, disponível no AVA.
- Após a leitura do Roteiro, você deverá realizar a(s) atividade(s) prática(s) solicitadas e elaborar um documento **ÚNICO** contendo todas as resoluções de acordo com a proposta estabelecida.
- O trabalho deve ser autêntico e contemplar todas as resoluções das atividades propostas. Não serão aceitos trabalhos com reprodução de materiais extraídos da internet.

2. Como farei a entrega dessa atividade?

- Você deverá postar seu trabalho final no AVA, na pasta específica relacionada à atividade prática, obedecendo o prazo limite de postagem, conforme disposto no AVA.
- Todas as resoluções das atividades práticas devem ser entregues em um **ARQUIVO ÚNICO** de até 10 MB.
- O trabalho deve ser enviado em formato Word ou PDF, exceto nos casos em que há formato especificado no Roteiro.
- O sistema permite anexar apenas um arquivo. Caso haja mais de uma postagem, será considerada a última versão.

IMPORTANTE:

- A entrega da atividade, de acordo com a proposta solicitada, é um critério de aprovação na disciplina.
- Não há prorrogação para a postagem da atividade.

Aproveite essa oportunidade para aprofundar ainda mais seus conhecimentos.

Bons estudos!

Unidade: 1

Seção: 3

Roteiro Aula Prática



RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS AVANÇADO

ROTEIRO DE AULA PRÁTICA

NOME DA DISCIPLINA: RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS AVANÇADO

Unidade: CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, ESFORÇOS EXTERNOS E INTERNOS

Seção: Diagramas dos esforços internos solicitantes

OBJETIVOS

Definição dos objetivos da aula prática:

Aplicar os conceitos teóricos para determinar (desenhar) os diagramas de esforço cortante e de momento fletor em uma viga isostática, utilizando um software de análise estrutural.

Aprender a como utilizar um software para análise de estrutura.

INFRAESTRUTURA

Instalações – Materiais de consumo – Equipamentos:

LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA

Equipamentos:

- Desktop Engenharia Positivo Master D3400

~ 1 un para cada aluno

SOLUÇÃO DIGITAL

- FTOOL (Software)

Ftool: é um software de análise estrutural para engenheiros civis.

- MDSOLIDS (Software)

MDSolids é um software para tópicos ensinados no curso de Mecânica dos Materiais (também comumente chamado de Resistência dos Materiais ou Mecânica dos Sólidos Deformáveis).

EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

Não se aplica

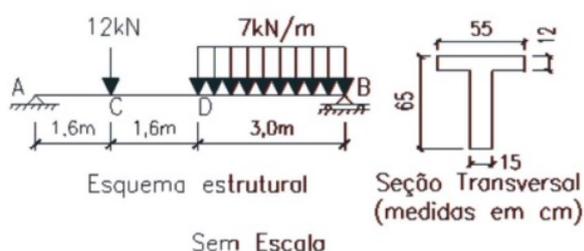
PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

Procedimento/Atividade nº 1 (Físico)

Atividade proposta:

Para a viga bi-apoiada, apresentada na figura 1, desenhar os diagramas de esforço cortante e de momento fletor utilizando o software Ftool e considerar que a viga é de concreto. Realize os cálculos manualmente, inclusive do momento de inércia da seção transversal, e, após, utilize o software para validar dos resultados.

Figura 1 – Esquema estrutura de uma viga bi-apoiada



Fonte: elaborada pelo autor

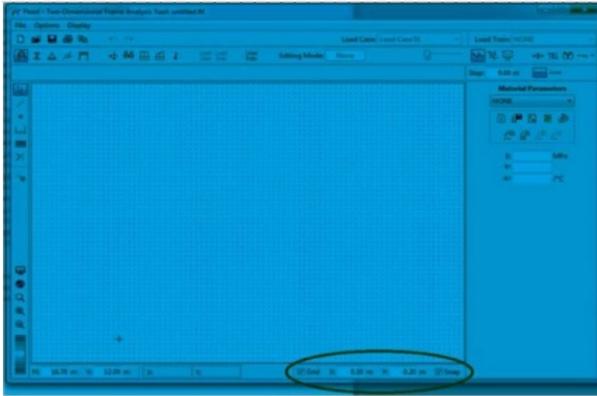
Procedimentos para a realização da atividade:

Para a realização desta atividade, inicialmente deve-se abrir o software FTool. Na sequência, realizar os passos de (a) a (i), descritos a seguir.

a) Defina o Grid e o Snap

Criar uma grade de pontos na tela com espaçamento determinado e o Snap, para que o cursor da tela só acesse os pontos definidos pelo Grid, auxiliando na precisão. Em seguida, na parte inferior da tela, selecionar as caixas Grid e Snap. Defina em 0,2m o espaçamento para o grid em x e y, conforme ilustra a figura 2. A magnitude do espaçamento depende do comprimento da barra e das distâncias entre as cargas. Por exemplo, uma barra com comprimento 3,50m necessita de espaçamento 0,5m, mas se ela tiver uma carga posicionada a 1,83m o espaçamento deve ser de 0,01m.

Figura 2 – Tela inicial do software Ftool.

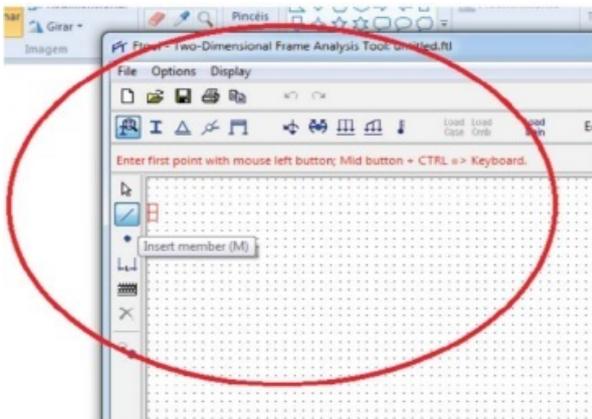


Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool

b) Para inserir uma barra

Na lateral esquerda da tela, clique na ferramenta Insert Member ou aperte a tecla M, como mostra a figura 3. Essa ferramenta permite inserir um membro na estrutura, entendendo que membro é uma barra reta da estrutura (uma viga, ou apenas um trecho de uma viga, um pilar ou qualquer barra em uma treliça).

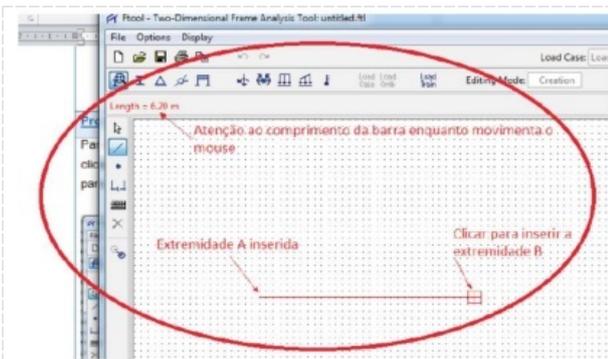
Figura 3 – Ferramenta Insert Member



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Clique em qualquer ponto do grid para inserir a extremidade A (também chamado nó A) da barra. Desloque o mouse para a direita até atingir o comprimento da barra (6,20m). Clique para inserir a extremidade B da barra, como na figura 4 (Obs.: manter a barra na horizontal).

Figura 4 – Inserindo as extremidades A e B



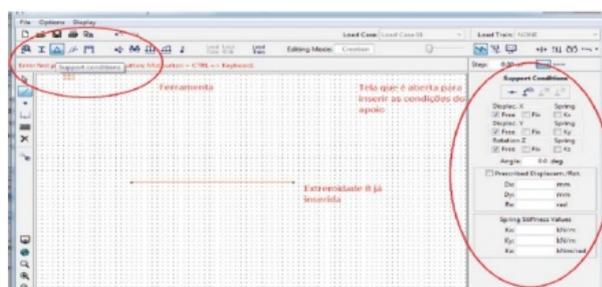
Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Você pode inserir quantas barras a estrutura possuir, como no caso de treliças, pórticos, grelhas e vigas contínuas (vigas com mais de um vão).

c) Para inserir um apoio ou conexão

Após inserir a extremidade B, para colocar os apoios clique em Support conditions. Aparecerá o menu na parte direita da tela, conforme a figura 5.

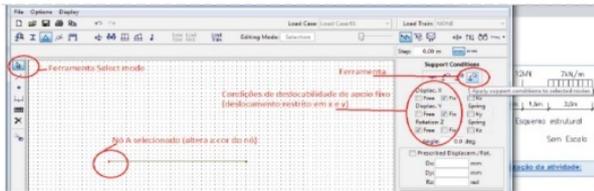
Figura 5 – Ferramenta Support conditions



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Aperte a tecla ESC ou selecione a ferramenta Select mode. Como o apoio do nó A é do tipo fixo, isto é, ele restringe movimentos em x e y, na janela da lateral direita escolha as opções Fix para Displac. X e Displac. Y. Depois, clique no nó A para selecioná-lo. Em seguida, clique na ferramenta Apply support conditions to selected nodes para inserir um apoio no nó A, como mostra a figura 6

Figura 6 – Inserindo o apoio fixo na extremidade A.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Após colocar o apoio no nó A, para inserir um apoio móvel no nó B, na janela lateral direita selecione a opção Free para Displac. X (livre para deslocar em X), depois selecione o nó B e, por fim, selecione a ferramenta Apply support conditions to selected nodes, como indicado na figura 7. Você pode inserir quantos apoios ou engastes a estrutura possuir, como no caso de vigas isostáticas com vários vãos e rótulas ou vigas contínuas, treliças e pórticos hiperestáticos.

Figura 7 – Inserindo o apoio móvel na extremidade B



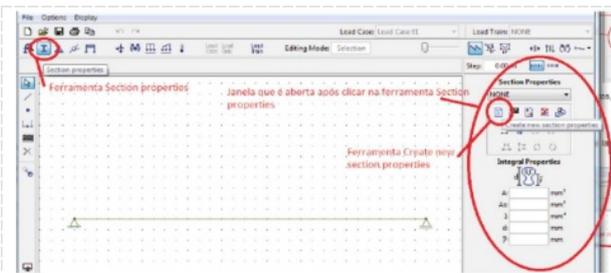
Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Salve seu trabalho se quiser experimentar vários carregamentos, tipos de materiais ou outras seções transversais.

d) Para inserir a seção transversal

Clique na ferramenta Section properties. Abrirá uma janela na lateral direita da tela. Nessa janela, clique na ferramenta Create new section properties (outra janela abrirá no lugar dessa última), conforme a figura 8.

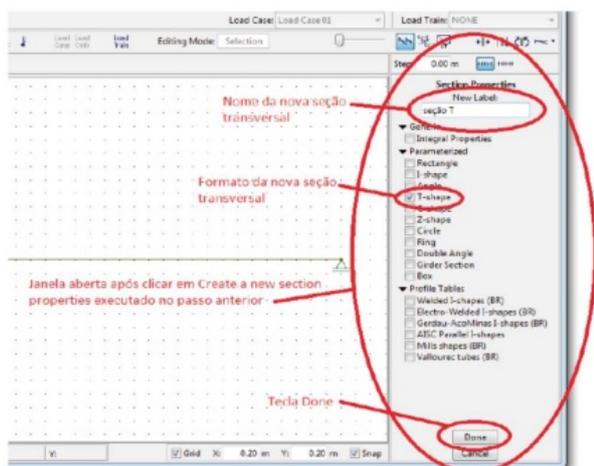
Figura 8 – Ferramenta Section properties.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Forneça o nome para a nova seção transversal, escolha o tipo de seção que deseja (no nosso caso, a opção T-shape) e clique em Done (nova janela será aberta nesse lugar da tela), conforme mostrado na figura 9.

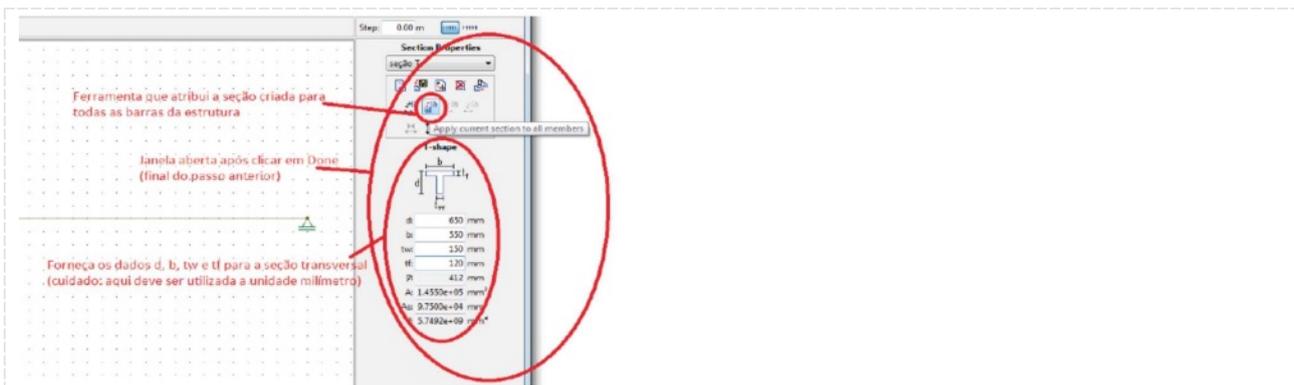
Figura 9 – Escolha da forma da seção transversal.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Forneça os dados do problema para a seção T ($d=650\text{mm}$; $b=550\text{mm}$, $t_w=150\text{mm}$ e $t_f=120\text{mm}$). Após clique na ferramenta Apply current section to all members, conforme figura 10.

Figura 10 – Inserindo os dados da seção transversal



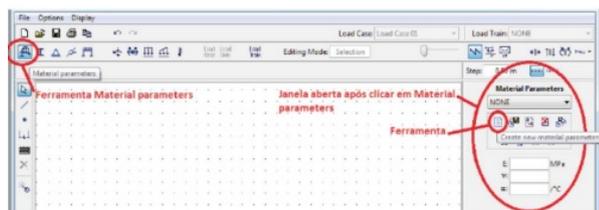
Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Obs.: Você pode criar várias seções transversais de dimensões ou tipos diversos e atribuí-las às barras diferentes, como no caso de treliças. Para isso, você deverá clicar na ferramenta Select members by current section em vez de clicar na ferramenta Apply current section to all members. Aconselha-se salvar o arquivo antes de prosseguir.

e) Para inserir o tipo de material

Clique na ferramenta Material parameters. Abrirá uma janela na lateral direita da tela. Clique na opção Create a new material parameters, como mostra a figura 11.

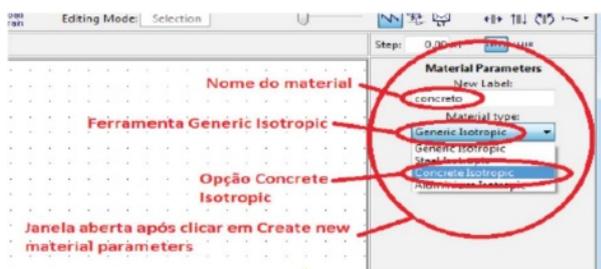
Figura 11 – Ferramenta Material parameters



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Na janela aberta após clicar em Create a new material parameters, forneça um nome para o novo material (em nosso caso, chamaremos de concreto), forneça os dados do material (módulo de elasticidade longitudinal, coeficiente de Poisson e coeficiente de dilatação térmica) se ele for um material especial; se for comum, clique na ferramenta Generic Isotropic (se ele não constar na lista que se abre, devem ser fornecidos os parâmetros como no caso dos materiais especiais) e, neste trabalho, escolha a opção Concrete Isotropic, conforme a figura 12.

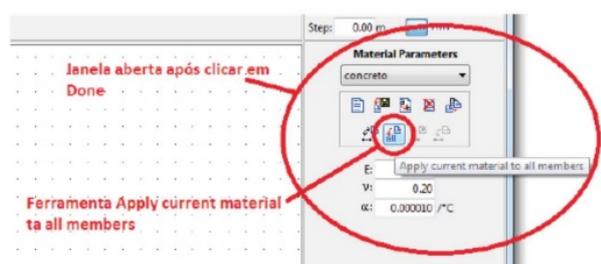
Figura 12 – Definindo o material.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Criado o material, clique em Done. Nova janela se abrirá na lateral direita da tela. Escolha a ferramenta Apply current material to all members para atribuir o material que foi criado para todas as barras da estrutura.

Figura 13 – Atribuindo o material à barra da estrutura



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Você pode atribuir materiais diferentes para barras diversas, como no caso de treliças metálicas apoiadas em pilares de concreto. Para tanto, escolha a ferramenta Select members by current material no lugar de clicar na ferramenta Apply current material to all members. Escolha as barras da estrutura que serão do tipo do material que está ativado.

Continua na Atividade 2

Checklist:

Apresentado no Checklist da Atividade 2

Procedimento/Atividade nº 2 (Físico)

Atividade proposta:

Continuação da Atividade 1

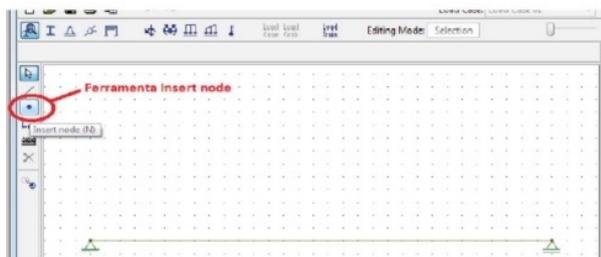
Procedimentos para a realização da atividade:

Continuação dos Procedimentos da Atividade 1

f) Para inserir mais nós na estrutura

Em termos estruturais, nó é definido como o encontro de duas ou mais barras (não necessariamente barras diferentes; pode ser a mesma barra que foi dividida, por exemplo, ao meio). As cargas concentradas devem sempre estar em um nó e as distribuídas começam e terminam em um. Assim, para poder aplicar na viga o carregamento dado no problema, primeiramente, temos que criar nela dois nós: um para aplicar a carga concentrada de 12kN e outro para iniciar a carga distribuída de 7kN/m. Não necessitamos criar o nó final da carga distribuída porque ele já existe (nó B). Para inserir um nó, clique na ferramenta Insert node ou aperte a tecla N, como mostrado na figura 14.

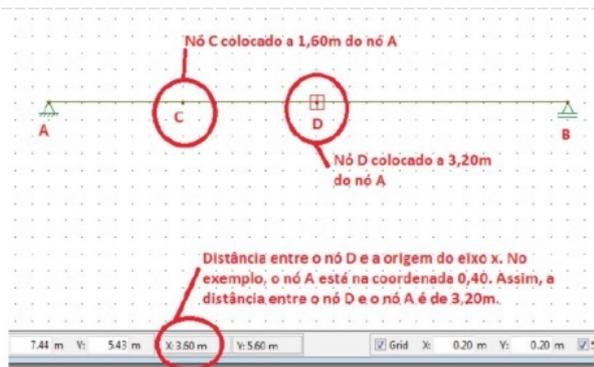
Figura 14 – Ferramenta Insert node



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Passe o mouse sobre a barra até chegar na posição 1,60 m e clique para inserir o nó onde será aplicada a força concentrada (nó C). Continue com o mouse “caminhando” sobre a barra até a posição 3,20 m. Clique para inserir o nó onde começará a aplicação da carga distribuída (nó D). Veja na figura 15.

Figura 15 – Inserindo os nós C e D.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

g) Para inserir uma carga concentrada

O programa permite que sejam atribuídas aos nós da estrutura forças concentradas e momentos fletores. Para atribuir a carga de 12kN atuante no nó C, clique na ferramenta Nodal forces. Irá abrir uma janela na lateral direita da tela, como mostra a figura 16.

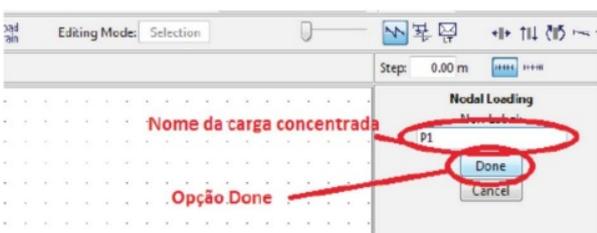
Figura 16 – Ferramenta Nodal forces.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Clique na opção Create new nodal force. Na janela que abrir digite o nome da carga concentrada (neste trabalho estamos chamando de P1) e clique na opção Done, como mostra a figura 17.

Figura 17 – Nomeando a carga concentrada.

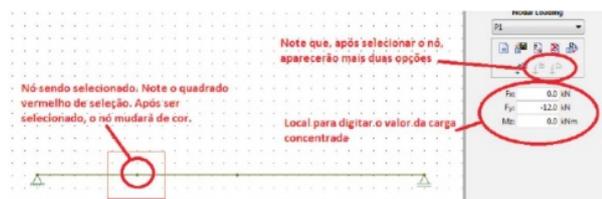


Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Na janela que abrirá, digite o valor para a carga em y considerando o sentido para cima como

positivo (neste trabalho, digite -12), como mostra a figura 18.

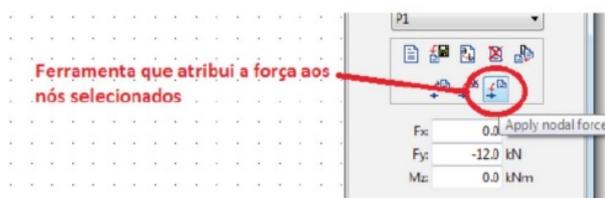
Figura 18 – Inserindo o valor da carga concentrada.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Selecione o nó que irá receber a carga (neste caso, o nó C). Para selecionar o nó, clique em um ponto qualquer acima e a esquerda do nó, mantenha o botão do mouse pressionado, arraste o mouse até envolver o nó quando, então, deverá soltar o botão do mouse. Após o nó ser selecionado, aparecerão mais duas opções. Clique na opção Apply nodal forces to selected nodes, como mostra a figura 19.

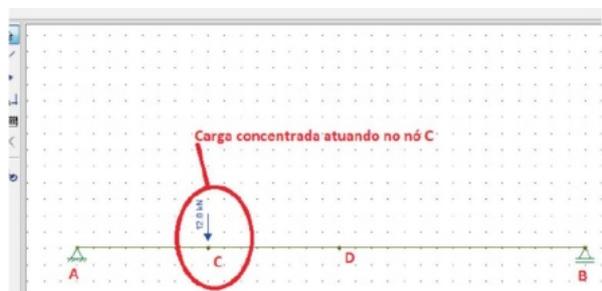
Figura 19 – Aplicando a carga concentrada no nó C.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool

Após a última etapa, a tela deverá exibir a carga concentrada aplicada no nó, como mostra a figura 20.

Figura 20 – Exibindo a carga concentrada atuando no nó C.

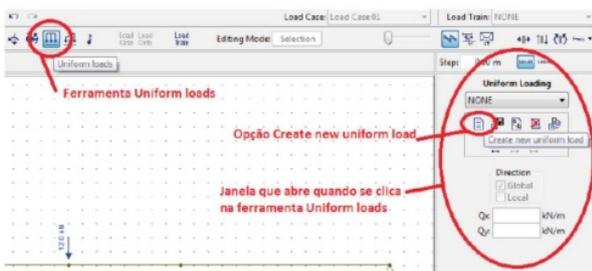


Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

h) Para inserir uma carga distribuída

Para inserir a carga distribuída, clique na ferramenta Uniform loads. Abrirá uma janela na lateral direita da tela, conforme a figura 21 a seguir. Selecione a opção Create new uniform load.

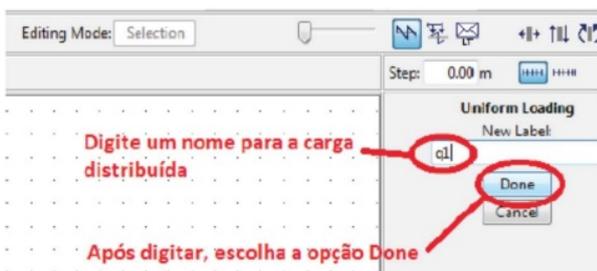
Figura 21 – Ferramenta Uniform loads



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Após selecionar Create a new uniform load, outra janela será aberta sobre a última. Digite o nome para a carga distribuída (q1 neste trabalho) e selecione a opção Done, conforme a figura 22.

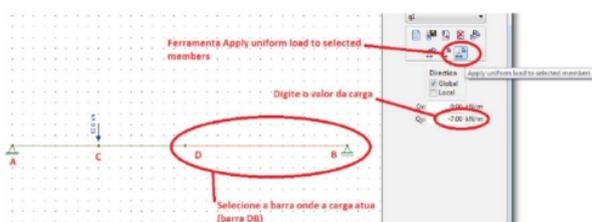
Figura 22 – Nomeando a carga distribuída



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool

Considerando o sentido para cima positivo, digite o valor da carga distribuída no eixo y (neste caso, -7). Com o mouse, selecione a barra onde essa carga atua (barra DB) e clique na ferramenta Apply uniform load to selected members, conforme mostra a figura 23.

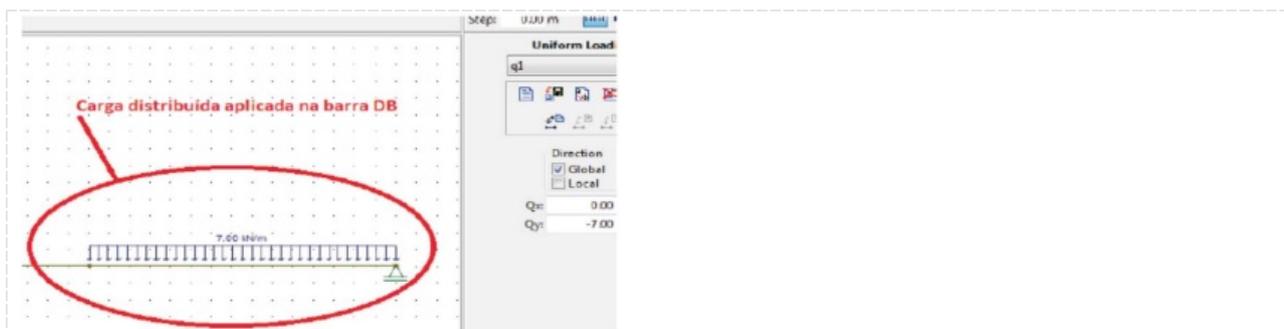
Figura 23 – Inserindo o valor da carga distribuída e aplicando ela na barra DB



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

A carga distribuída será mostrada lançada sobre a barra DB, como mostra a figura 24 a seguir.

Figura 24 – Exibindo a carga distribuída atuando na barra DB.

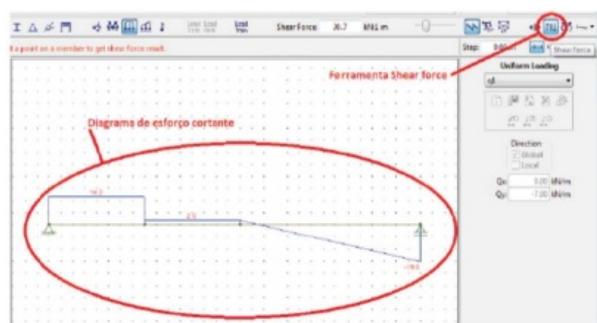


Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool

i) Para ver o resultado da análise estrutural

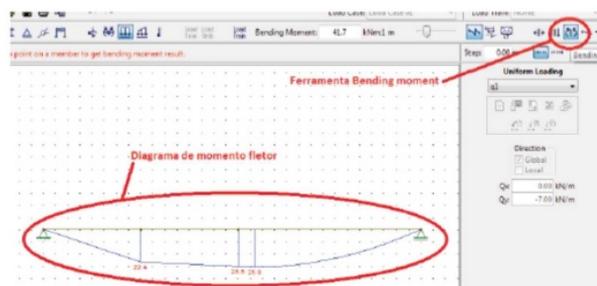
Para visualizar o diagrama de esforço cortante, clique na ferramenta Shear force, e para visualizar o diagrama de momento fletor, clique na ferramenta Bending moment, como mostram as figuras 25 e 26 a seguir.

Figura 25 – Diagrama de esforço cortante



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool

Figura 26 – Diagrama de momento fletor



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Checklist:

Atividades 1 e 2

Abra o software Ftool

1) Defina o Grid e o Snap

1.1) Clique no quadrado Grid e no Snap (parte inferior direita da tela).

- 1.2) Defina em 0,2m o espaçamento para o grid em x e y.
- 2) Insira a barra
 - 2.1) Clique no botão Insert Member.
 - 2.2) Clique em qualquer ponto do grid para inserir a extremidade A.
 - 2.3) Desloque o mouse para a direita até atingir o comprimento de 6,20m e clique para inserir a extremidade B da barra.
- 3) Insira o engaste
 - 3.1) Clique em Support conditions.
 - 3.2) Aperte a tecla ESC ou selecione a ferramenta Select mode.
 - 3.3) Escolha as opções Fix para Displac. X, Displac. Y e Rotation Z
 - 3.4) Clique no nó A.
 - 3.5) Clique na ferramenta Apply support conditions to selected nodes. Salve o trabalho.
- 4) Insira a seção transversal
 - 4.1) Clique na ferramenta Section properties.
 - 4.2) Clique na ferramenta Create new section properties.
 - 4.3) Forneça o nome para a nova seção transversal.
 - 4.4) Escolha a opção Double Angle.
 - 4.5) Clique em Done.
 - 4.6) Forneça os dados para a seção T ($d=250\text{mm}$; $b=160\text{mm}$, $t=25\text{mm}$ e $e=5\text{mm}$).
 - 4.7) Clique na ferramenta Apply current section to all members.
- 5) Insira o tipo de material
 - 5.1) Clique na ferramenta Material parameters.
 - 5.2) Clique na opção Create a new material parameters.
 - 5.3) Digite o nome aço para o novo material.
 - 5.4) Clique na ferramenta Generic Isotropic.
 - 5.5) Escolha a opção Steel Isotropic.
 - 5.6) Clique em Done.
 - 5.7) Escolha a ferramenta Apply current material to all members.
- 6) Insira os nós C e D na estrutura
 - 6.1) Clique na ferramenta Insert node.
 - 6.2) Passe o mouse sobre a barra até chegar na posição 1,60 m.
 - 6.3) Clique para inserir o nó onde será aplicada a força concentrada (nó C).
 - 6.4) Continue com o mouse "caminhando" sobre a barra até a posição 3,20 m. 6.5) Clique para inserir o nó onde começará a aplicação da carga distribuída (nó D).
- 7) Atribua a carga concentrada de 12kN
 - 7.1) Clique na ferramenta Nodal forces.
 - 7.2) Clique na opção Create new nodal force.
 - 7.3) Digite P1 para o nome da carga concentrada.

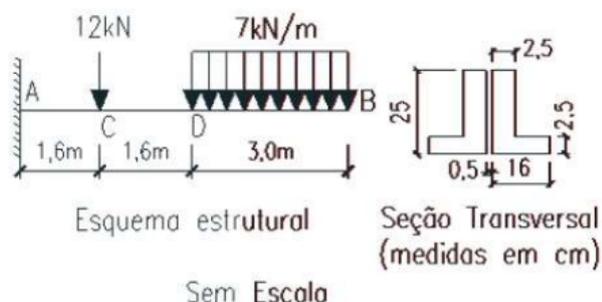
- 7.4) Clique na opção Done.
- 7.5) Digite o valor da carga em y (-12).
- 7.6) Com o mouse, selecione o nó onde atua a carga concentrada (nó C).
- 7.7) Clique na opção Apply nodal forces to selected nodes.
- 8) Atribua a carga distribuída de 7kN/m
- 8.1) Clique na ferramenta Uniform loads.
- 8.2) Selecione a opção Create new uniform load.
- 8.3) Digite q1 para o nome para a carga distribuída.
- 8.4) Selecione a opção Done.
- 8.5) Digite o valor da carga distribuída no eixo y, neste caso, -7 (sentido para cima é o positivo).
- 8.6) Com o mouse, selecione a barra DB.
- 8.7) Clique em ferramenta Apply uniform load to selected members.
- 9) Visualização do resultado
- 9.1) Clique na ferramenta Shear force para visualizar o diagrama de esforço cortante.
- 9.2) Clique na ferramenta Bending moment para visualizar o diagrama de momento fletor.
- 10) Salve seu trabalho.

Procedimento/Atividade nº 3 (Físico)

Atividade proposta:

Para a viga engastada apresentada na figura 27, a seguir, desenhe os diagramas de esforço cortante e de momento fletor considerando que ela é de aço. Realize os cálculos manualmente, inclusive do momento de inércia da seção transversal, e, após, utilize o software para validar dos resultados.

Figura 27 – viga em balanço



Procedimentos para a realização da atividade:

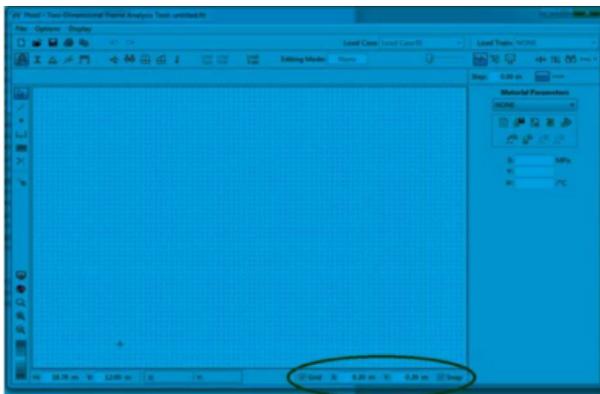
Para a realização desta atividade, primeiramente deve-se abrir o software Ftool. Na sequência, realize os passos de (a) a (i), descritos a seguir. Note que, comparando as estruturas (figuras 1 e 26), na entrada dos dados apenas os procedimentos (d) e (e) sofrerão alteração, ou seja,

modificaremos o tipo de conexão nos nós A e B e o tipo de seção transversal.

a) Defina o Grid e o Snap

Em seguida clicar no quadrado Grid e no Snap (parte inferior direita da tela). Defina em 0,2m o espaçamento para o grid em x e y, conforme figura 28.

Figura 28 – Tela inicial do software Ftool

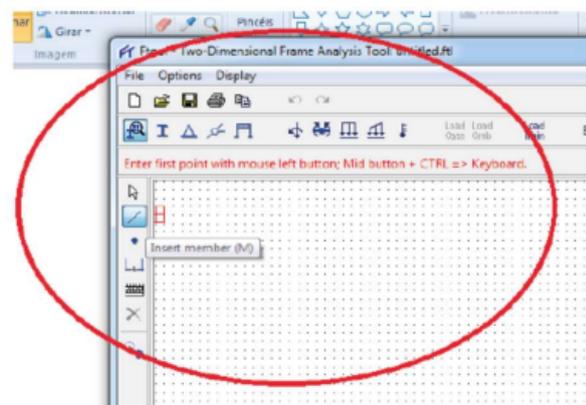


Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

b) Para inserir a barra

Clique na ferramenta Insert Member (lateral esquerda da tela) ou aperte a tecla M, como mostra a figura 29.

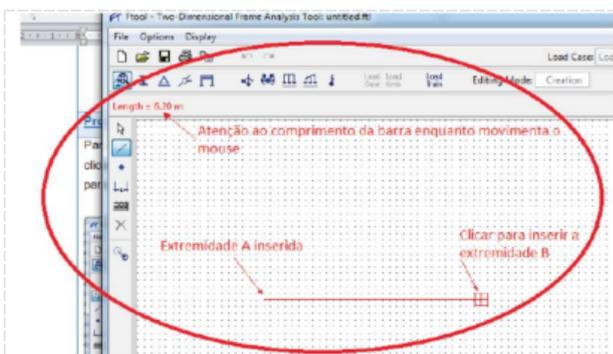
Figura 29 – Ferramenta Insert Member.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Clique em qualquer ponto do grid para inserir a extremidade A da barra. Desloque o mouse para a direita até atingir o comprimento da barra (6,20m). Clique para inserir a extremidade B da barra, como na figura 30 (Obs.: manter a barra na horizontal).

Figura 30 – Inserindo as extremidades A e B.

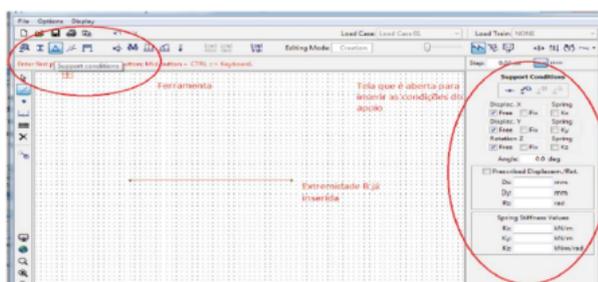


Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

c) Para inserir um apoio ou conexão

Após inserir a extremidade B, para colocar os apoios clique em Support conditions. Aparecerá o menu na parte direita da tela, conforme a figura 31.

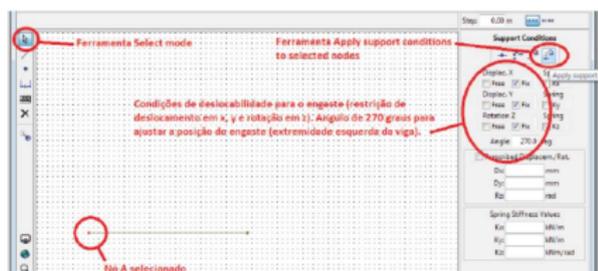
Figura 31 – Ferramenta Support conditions.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Aperte a tecla ESC ou selecione a ferramenta Select mode. Como o apoio do nó A é do tipo engaste, isto é, ele restringe movimentos em x, em y e rotação em torno do eixo z, na janela da lateral direita escolha as opções Fix para Displac. X, Displac. Y e Rotation Z. Digite, também, o ângulo que o engaste faz com a horizontal (no caso, 270°). Depois, clique no nó A para selecioná-lo. Em seguida, clique na ferramenta Apply support conditions to selected nodes para inserir um engaste no nó A, como mostra a figura 32.

Figura 32 – Inserindo o engaste na extremidade A.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

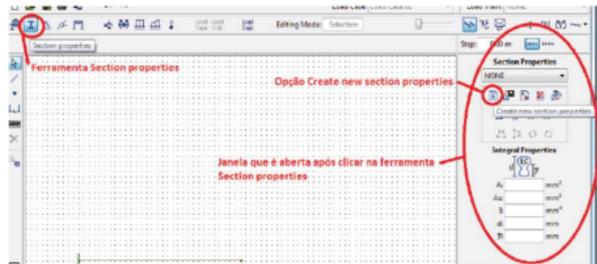
Nenhum apoio será inserido no nó B, porque é uma extremidade livre (viga em balanço). Salve seu trabalho se quiser experimentar vários carregamentos, tipos de materiais ou outras seções

transversais.

d) Para inserir a seção transversal

Clique na ferramenta Section properties. Abrirá uma janela na lateral direita da tela. Nessa janela, clique na ferramenta Create new section properties (outra janela abrirá no lugar dessa última), conforme a figura 33.

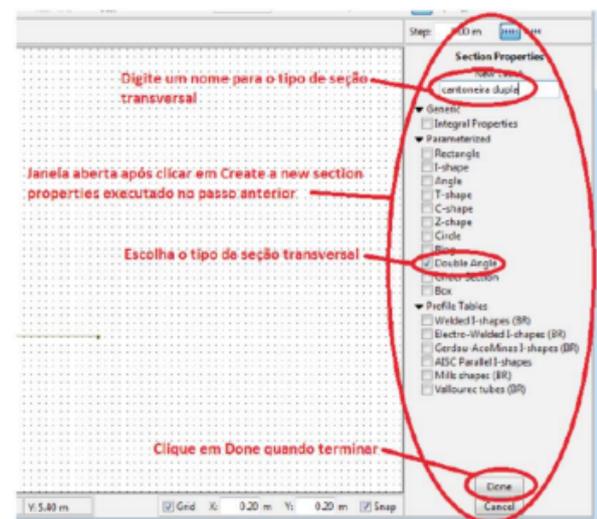
Figura 33 – Ferramenta Section properties.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Forneça o nome para a nova seção transversal, escolha o tipo de seção que deseja (no nosso caso é uma cantoneira dupla, opção Double Angle) e clique em Done (nova janela será aberta nesse lugar da tela), conforme mostrado na figura 34.

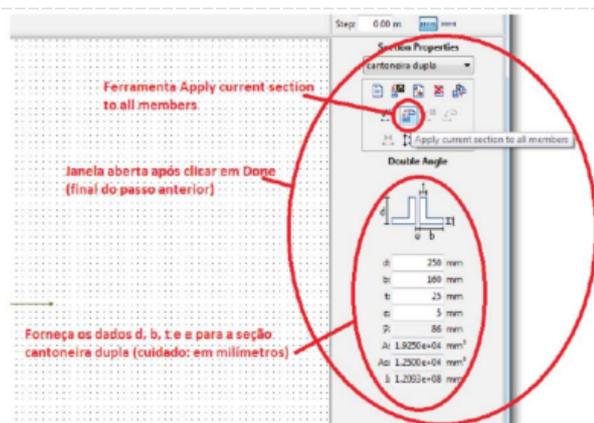
Figura 34 – Escolha da forma da seção transversal.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Forneça os dados do problema para a seção cantoneira dupla ($d=250\text{mm}$; $b=160\text{mm}$, $t=25\text{mm}$ e $e=5\text{mm}$). Após clique na ferramenta Apply current section to all members, conforme figura 35.

Figura 35 – Inserindo os dados da seção transversal



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Aconselha-se salvar o arquivo antes de prosseguir.

e) Para inserir o tipo de material

Clique na ferramenta Material parameters. Abrirá uma janela na lateral direita da tela. Clique na opção Create a new material parameters, como mostra a figura 36.

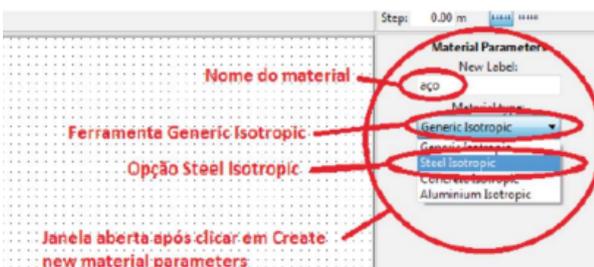
Figura 36 – Ferramenta Material parameters.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Na janela aberta após clicar em Create a new material parameters, forneça um nome para o novo material (em nosso caso, chamaremos de aço), forneça os dados do material (módulo de elasticidade longitudinal, coeficiente de Poisson e coeficiente de dilatação térmica) se ele for um aço especial; se for comum, clique na ferramenta Generic Isotropic e, neste trabalho, escolha a opção Steel Isotropic, conforme a figura 37.

Figura 37 – Definindo o material.

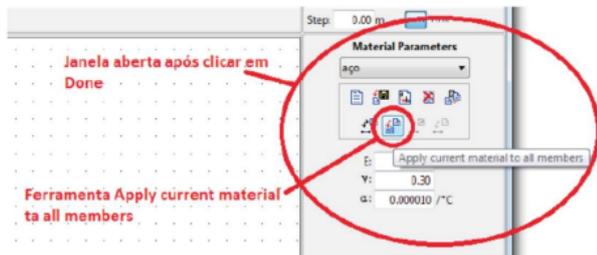


Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Criado o material, clique em Done. Nova janela se abrirá na lateral direita da tela. Escolha a

ferramenta Apply current material to all members para atribuir o material que foi criado para todas as barras da estrutura, conforme mostra a figura 38.

Figura 38 – Atribuindo o material à barra da estrutura



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

f) Para inserir mais nós na estrutura

Para inserir um nó, clique na ferramenta Insert node ou aperte a tecla N, como mostrado na figura 39.

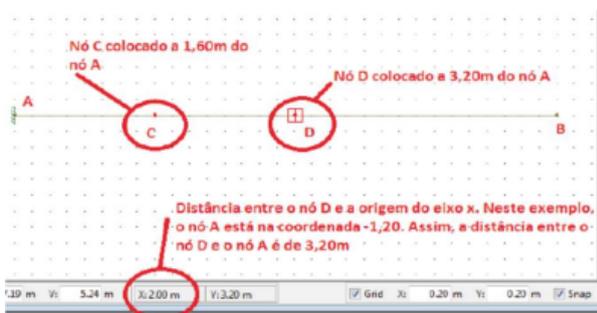
Figura 39 – Ferramenta Insert node



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Passa o mouse sobre a barra até chegar na posição 1,60 m e clique para inserir o nó onde será aplicada a força concentrada (nó C). Continue com o mouse “caminhando” sobre a barra até a posição 3,20 m. Clique para inserir o nó onde começará a aplicação da carga distribuída (nó D). Veja na figura 40.

Figura 40 – Inserindo os nós C e D.

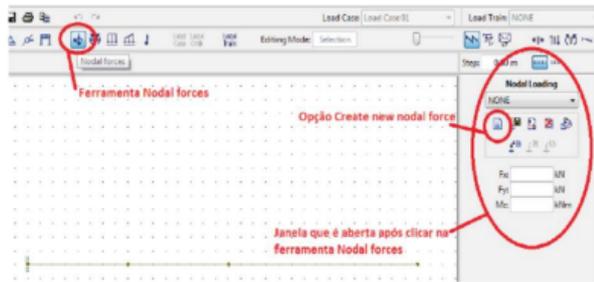


Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

g) Para inserir uma carga concentrada

Para atribuir a carga de 12kN atuante no nó C, clique na ferramenta Nodal forces. Irá abrir uma janela na lateral direita da tela, como mostra a figura 41.

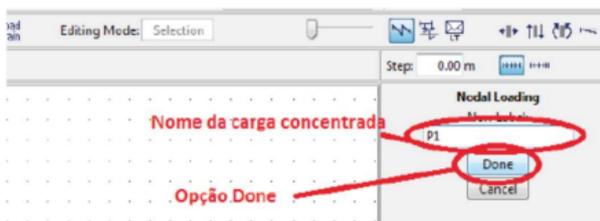
Figura 41 – Ferramenta Nodal forces.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Clique na opção Create new nodal force. Na janela que abrir digite o nome da carga concentrada (neste trabalho estamos chamando de P1) e clique na opção Done, como mostra a figura 42.

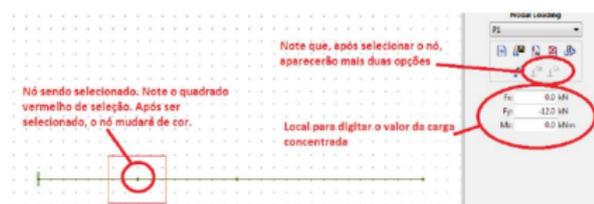
Figura 42 – Nomeando a carga concentrada.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Na janela que abrirá, digite o valor para a carga em y considerando o sentido para cima como positivo (neste trabalho, digite -12), como mostra a figura 43.

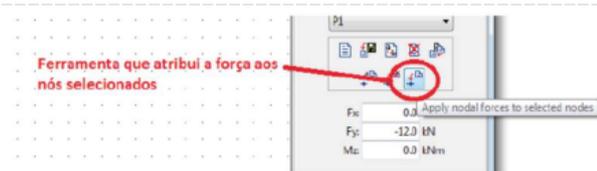
Figura 43 – Inserindo o valor da carga concentrada.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Selecione o nó que irá receber a carga (neste caso, o nó C). Para selecionar o nó, clique em um ponto qualquer acima e a esquerda do nó, mantenha o botão do mouse pressionado, arraste o mouse até envolver o nó quando, então, deverá soltar o botão do mouse. Após o nó ser selecionado, aparecerão mais duas opções. Clique na opção Apply nodal forces to selected nodes, como mostra a figura 44.

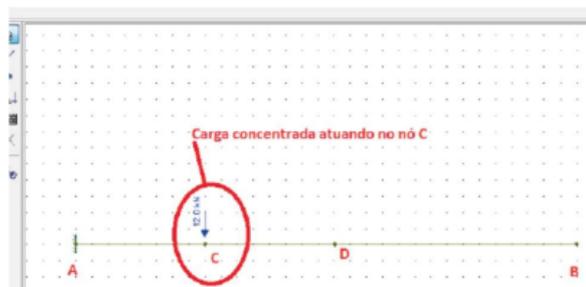
Figura 44 – Aplicando a carga concentrada no nó C



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Após a última etapa, a tela deverá exibir a carga concentrada aplicada no nó, como mostra a figura 45.

Figura 45 – Exibindo a carga concentrada atuando no nó C.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

h) Para inserir uma carga distribuída

Para inserir a carga distribuída, clique na ferramenta Uniform loads. Abrirá uma janela na lateral direita da tela, conforme a figura 46 a seguir. Selecione a opção Create new uniform load.

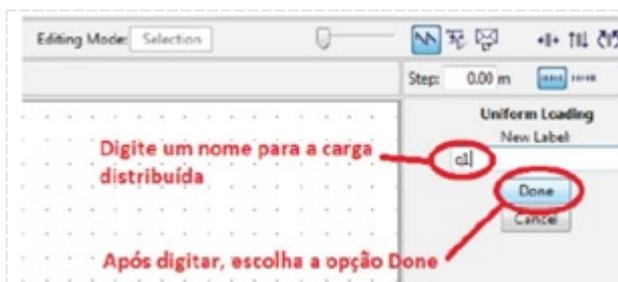
Figura 46 – Ferramenta Uniform loads



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Após selecionar Create a new uniform load, outra janela será aberta sobre a última. Digite o nome para a carga distribuída (q1 neste trabalho) e selecione a opção Done, conforme a figura 47.

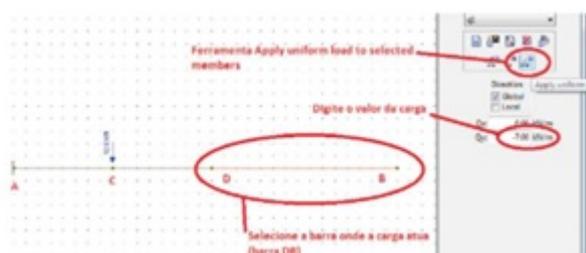
Figura 47 – Nomeando a carga distribuída



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Considerando o sentido para cima positivo, digite o valor da carga distribuída no eixo y (neste caso, - 7). Com o mouse, selecione a barra onde essa carga atua (barra DB) e clique na ferramenta Apply uniform load to selected members, conforme mostra a figura 48.

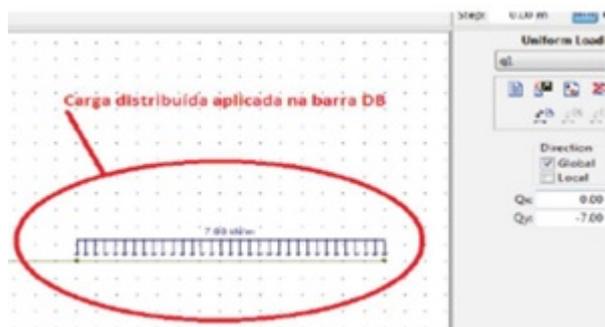
Figura 48 – Inserindo o valor da carga distribuída e aplicando ela na barra DB



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

A carga distribuída será mostrada lançada sobre a barra DB, como mostra a figura 49 a seguir.

Figura 49 – Exibindo a carga distribuída atuando na barra DB.

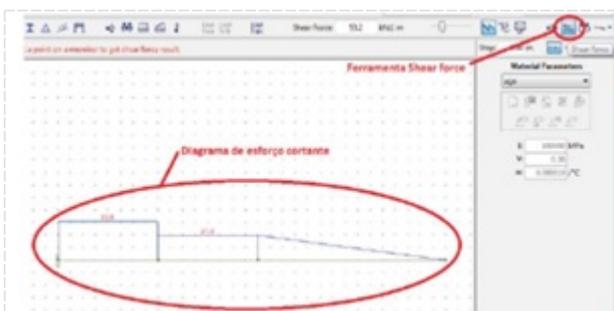


Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

i) Para ver o resultado da análise estrutural

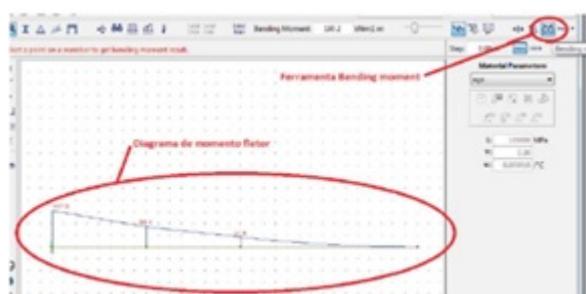
Para visualizar o diagrama de esforço cortante, clique na ferramenta Shear force, e para visualizar o diagrama de momento fletor, clique na ferramenta Bending moment, como mostram as figuras 50 e 51 a seguir.

Figura 50 – Diagrama de esforço cortante



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Figura 51 – Diagrama de momento fletor.



Fonte: Elaborada pelo autor com captura de tela do FTool.

Checklist:

Abra o software Ftool

1) Defina o Grid e o Snap

1.1) Clique no quadrado Grid e no Snap (parte inferior direita da tela).

1.2) Defina em 0,2m o espaçamento para o grid em x e y.

2) Insira a barra

2.1) Clique no botão Insert Member.

2.2) Clique em qualquer ponto do grid para inserir a extremidade A.

2.3) Desloque o mouse para a direita até atingir o comprimento de 6,20m e clique para inserir a extremidade B da barra.

3) Insira o engaste

3.1) Clique em Support conditions.

3.2) Aperte a tecla ESC ou selecione a ferramenta Select mode.

3.3) Escolha as opções Fix para Displac. X, Displac. Y e Rotation Z

3.4) Clique no nó A.

3.5) Clique na ferramenta Apply support conditions to selected nodes. Salve o trabalho.

4) Insira a seção transversal

4.1) Clique na ferramenta Section properties.

4.2) Clique na ferramenta Create new section properties.

4.3) Forneça o nome para a nova seção transversal.

4.4) Escolha a opção Double Angle.

- 4.5) Clique em Done.
- 4.6) Forneça os dados para a seção T ($d=250\text{mm}$; $b=160\text{mm}$, $t=25\text{mm}$ e $e=5\text{mm}$).
- 4.7) Clique na ferramenta Apply current section to all members.
- 5) Insira o tipo de material
 - 5.1) Clique na ferramenta Material parameters.
 - 5.2) Clique na opção Create a new material parameters.
 - 5.3) Digite o nome aço para o novo material.
 - 5.4) Clique na ferramenta Generic Isotropic.
 - 5.5) Escolha a opção Steel Isotropic.
 - 5.6) Clique em Done.
 - 5.7) Escolha a ferramenta Apply current material to all members.
- 6) Insira os nós C e D na estrutura
 - 6.1) Clique na ferramenta Insert node.
 - 6.2) Passe o mouse sobre a barra até chegar na posição 1,60 m.
 - 6.3) Clique para inserir o nó onde será aplicada a força concentrada (nó C).
 - 6.4) Continue com o mouse “caminhando” sobre a barra até a posição 3,20 m. 6.5) Clique para inserir o nó onde começará a aplicação da carga distribuída (nó D).
- 7) Atribua a carga concentrada de 12kN
 - 7.1) Clique na ferramenta Nodal forces.
 - 7.2) Clique na opção Create new nodal force.
 - 7.3) Digite P1 para o nome da carga concentrada.
 - 7.4) Clique na opção Done.
 - 7.5) Digite o valor da carga em y (-12).
 - 7.6) Com o mouse, selecione o nó onde atua a carga concentrada (nó C).
 - 7.7) Clique na opção Apply nodal forces to selected nodes.
- 8) Atribua a carga distribuída de 7kN/m
 - 8.1) Clique na ferramenta Uniform loads.
 - 8.2) Selecione a opção Create new uniform load.
 - 8.3) Digite q1 para o nome para a carga distribuída.
 - 8.4) Selecione a opção Done.
 - 8.5) Digite o valor da carga distribuída no eixo y, neste caso, -7 (sentido para cima é o positivo).
 - 8.6) Com o mouse, selecione a barra DB.
 - 8.7) Clique em ferramenta Apply uniform load to selected members.
- 9) Visualização do resultado
 - 9.1) Clique na ferramenta Shear force para visualizar o diagrama de esforço cortante.
 - 9.2) Clique na ferramenta Bending moment para visualizar o diagrama de momento fletor.
- 10) Salve seu trabalho.

Procedimento/Atividade nº 1 (Virtual)

Atividade proposta:

Aplicar os conceitos teóricos de torção no regime elástico em eixos de transmissão, utilizando um software de análise de resistência dos materiais.

Procedimentos para a realização da atividade:

MDSoldis – software educativo para estudantes de Resistência de Materiais. É constituído por um conjunto de módulos que compreendem os seguintes temas: comportamento de pilares e vigas, flexão, torção, esforço axial, estruturas estaticamente indeterminadas, treliças, propriedades de seções e círculo de Mohr. Ele possui uma licença disponível para teste por 30 dias.

Olá, Estudante! Nessa aula prática iremos realizar experimentos que abordam os conceitos relacionados ao cálculo de torção, no regime elásticos, em eixos de transmissão. Para isso, precisamos compreender quais os conceitos fundamentais associados a esse tema, principalmente entender como a torção se relaciona com a tensão de cisalhamento nos elementos estruturais. Para essa análise, vamos considerar eixos circulares em que, na região elástico linear, a lei de Hooke para o cisalhamento pode ser aplicada.

Nesse caso, a relação entre torque e tensão de cisalhamento, em uma barra, pode ser verificada através do diagrama de distribuição de tensão de cisalhamento, relacionando o raio do eixo com a tensão de cisalhamento atuante devido a um torque aplicado. Esse diagrama apresenta, no eixo das abcissas, as informações referentes aos valores para a distância da superfície da barra ao centro da seção transversal do eixo e no eixo das ordenadas, os valores para tensão de cisalhamento. Quando há um torque atuante em uma barra maciça, ele é analisado a partir do centro da estrutura (eixo longitudinal), local onde não há atuação da tensão de cisalhamento. Contudo, na superfície do material, a tensão de cisalhamento apresenta seu valor máximo, descrevendo uma distribuição de tensões do tipo triangular . Nesse caso, a tensão de cisalhamento pode ser obtida pela tensão de cisalhamento máxima

$$\tau = \frac{\rho}{C} \tau_{MAX} \quad (1)$$

Em que ρ são os valores possíveis para o eixo das abcissas e C o raio da barra. Entretanto,

para eixos vazados, a distribuição de tensão segue uma geometria trapezoidal, com valores para tensões mínimas e máximas de cisalhamento, atuantes nos raios interno C_1 e externo C_2 , respectivamente, relacionadas por (2).

$$\tau_{MIN} = \frac{C_1}{C_2} \tau_{MAX} \quad (2)$$

Assim, agrupando as equações (1) e (2), levando em consideração o momento polar de inércia dado por:

$$J = \int \rho^2 dA$$

da seção transversal ao eixo de rotação, o torque pode ser escrito, considerando a tensão de cisalhamento máxima atuante por (3).

$$T = \frac{\tau_{MAX} J}{C} \quad (3)$$

Lembrando que o momento polar de inércia (J) é uma propriedade física que descreve a dificuldade que um material apresenta para desenvolver um movimento de rotação, quando submetido a um esforço de torção. Ele está relacionado com a geometria que a seção transversal apresenta e, para cada geometria, há uma equação para o cálculo do momento polar de inércia. Como estamos desenvolvendo o estudo da tensão de cisalhamento em eixos, maciços e vazados, sob atuação de torque (torção), vamos utilizar as equações para o momento polar de inércia para geometria circular maciça (4) e vazada (5).

$$J = \frac{1}{2} \pi c^4 \quad (4)$$

$$J = \frac{1}{2} \pi (c_2^4 - c_1^4) \quad (5)$$

E ainda, em muitos casos, os valores de potência e velocidade de rotação são fornecidos para o cálculo do torque em eixos de transmissão. Como a potência P pode ser descrita como o torque T desenvolvido em um determinado tempo, ela pode ser escrita por (6).

$$P = \frac{T d\theta}{dt} \quad (6)$$

Considerando a velocidade de rotação w descrita pela velocidade angular:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

obtemos a potência quando (7).

$$P = T\omega \quad (7)$$

E ainda, a velocidade angular pode ser definida através da frequência de rotação f . Nesse caso, matematicamente ela é escrita por:

$$\omega = 2\pi f$$

Com essa informação, partindo de (7), o torque T pode ser expresso por (8).

$$T = \frac{P}{2\pi f} \quad (8)$$

Conhecendo o torque T e a tensão de cisalhamento máxima do material a ser utilizado no projeto, é possível determinar as dimensões do eixo utilizando a equação de torção (3), lembrando que o material deve comportar-se de forma linear elástica. Assim, o parâmetro geométrico (J/C) do projeto pode ser determinado por (9).

$$\frac{J}{C} = \frac{T}{\tau_{MÁX}} \quad (9)$$

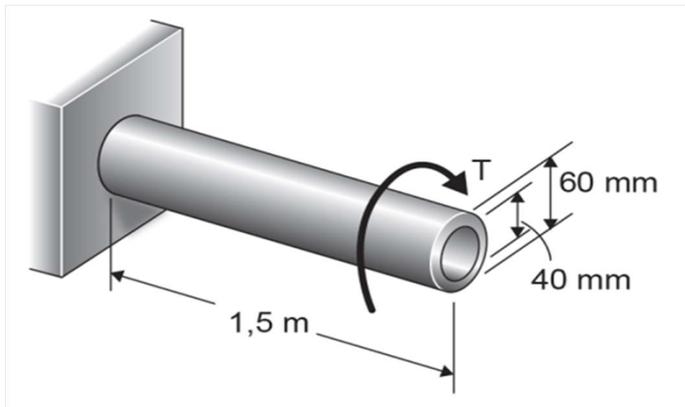
Esses parâmetros de análise e verificação de eixos de transmissão podem ser modelados em software, a fim de realizarmos simulações de diferentes geometrias e materiais de elementos estruturais para diferentes esforços, buscando idealizarmos um projeto seguro e econômico. Com os principais conceitos, a respeito do tema, revistos, podemos desenvolver os experimentos propostos, realizando os cálculos e análises necessárias. Está preparado(a)?! Vamos para o desenvolvimento dos experimentos!

Para iniciar as nossas atividades, vamos aplicar os conceitos de torção para análise de eixos de transmissão sob torque atuante. Para isso, inicialmente vamos calcular o torque atuante em um eixo vazado e, depois, determinar o diâmetro interno de um eixo de transmissão considerando a potência do motor atuante. Para um bom desenvolvimento das atividades e compreensão dos conteúdos, realize os cálculos primeiramente à mão e utilize o software para conferência dos resultados.

1. Cálculo do torque em um tubo (eixo) vazado

A Figura 1 apresenta as dimensões de um tubo sob esforço de um torque T . Dessa forma, encontre o torque aplicado sabendo que a tensão de cisalhamento atuante é de 120MPa.

Figura 1 – Torque aplicado à extremidade de um tubo



Fonte: Beer et al. (2015, p. 144).

Para a realização desta atividade, inicialmente abra o software MDSolids. Em seguida, clique no módulo Torsion, na aba MDSolids Modules, conforme Figura 2.

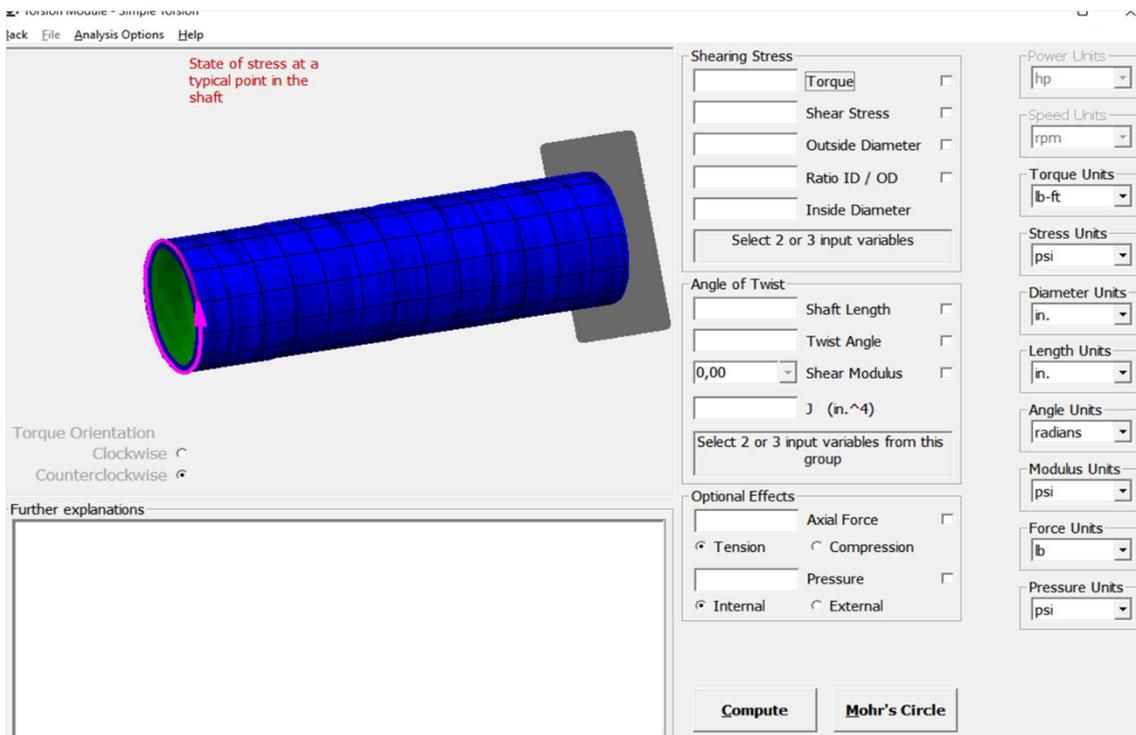
Figura 2 – Tela inicial do software MDSolids.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Clicando no módulo indicado, irá abrir uma tela como a mostrada na Figura 3, onde iniciaremos a execução de nossa atividade.

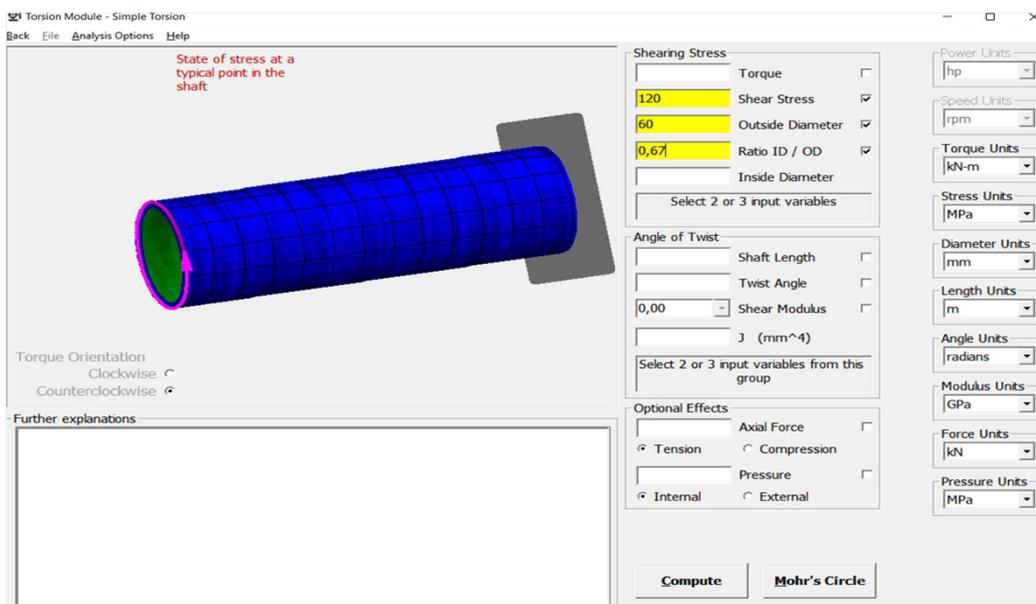
Figura 3 – Torção em barras vazadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas colunas a direita da tela, ajuste as unidades das grandezas utilizadas. Depois, ao lado, selecione as opções em que os valores fornecidos serão inseridos, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Apresentação dos dados e unidades ajustadas no programa.



Em seguida, acione o botão compute e obtenha os resultados, conforme a Figura 5. Compare os resultados com os obtidos de forma manual aplicando os conceitos vistos em aula

Checklist:

Para o desenvolvimento do experimento é necessário:

- Abrir o software MDSolids;
- Acionar o botão Torsion na aba MDSolids Modules, para o desenvolvimento da primeira atividade;
- Ajustar as unidades na coluna da direita, e preencher as informações do enunciado.
- Acionar o botão compute para obter os resultados e comparar com os calculados de forma manual.

Na segunda etapa do experimento:

- Abrir o software MDSolids;
- Acionar o botão Torsion na aba MDSolids Modules;
- Escolher a opção Power Shaft dentro da barra de ferramenta superior Analysis Options;
- Ajustar as unidades na coluna da direita e preencher as informações conforme enunciado;
- Acionar o botão compute para obter os resultados e comparar com os calculados de forma manual.

Procedimento/Atividade nº 2 (Virtual)

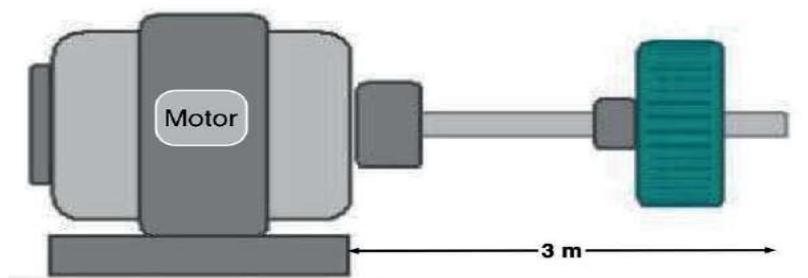
Atividade proposta:

Cálculo do diâmetro interno de um eixo de transmissão

Procedimentos para a realização da atividade:

Observe o eixo de transmissão tubular, apresentado na Figura 6, que possui 3 m de comprimento e 250 mm de diâmetro externo. Encontre o diâmetro interno do eixo de transmissão, sabendo que o motor transmite uma potência de 3 MW ao eixo com velocidade angular de 30 rad/s. Sabe-se também que a tensão de cisalhamento admissível apresenta valor de 80 MPa.

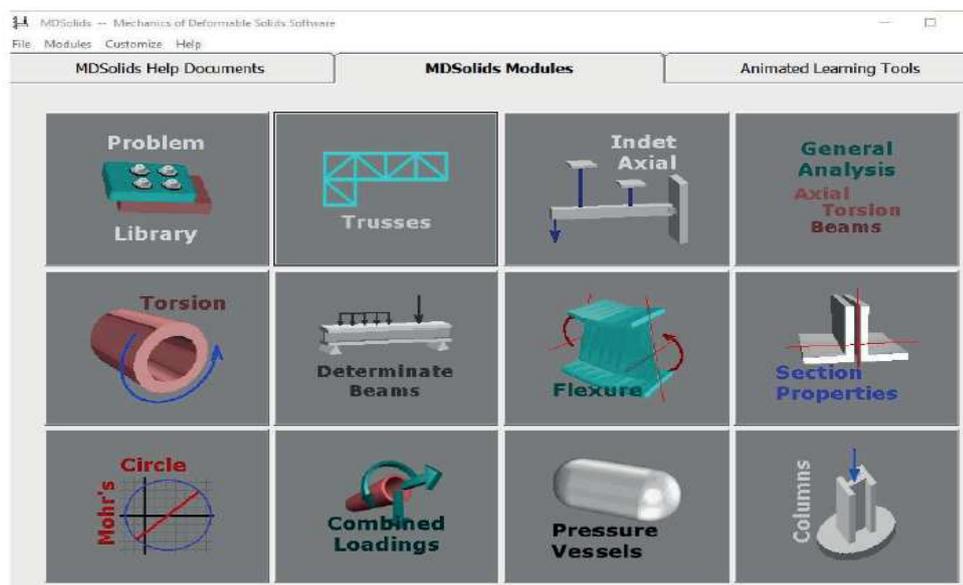
Figura 6 – Desenho esquemático do eixo de transmissão



Fonte: Adaptado módulo Torsão do software MDSolids

Para a realização desta atividade, na tela inicial do software MDSolids, deve-se clicar no módulo Torsion na aba MDSolids Modules, conforme Figura 7.

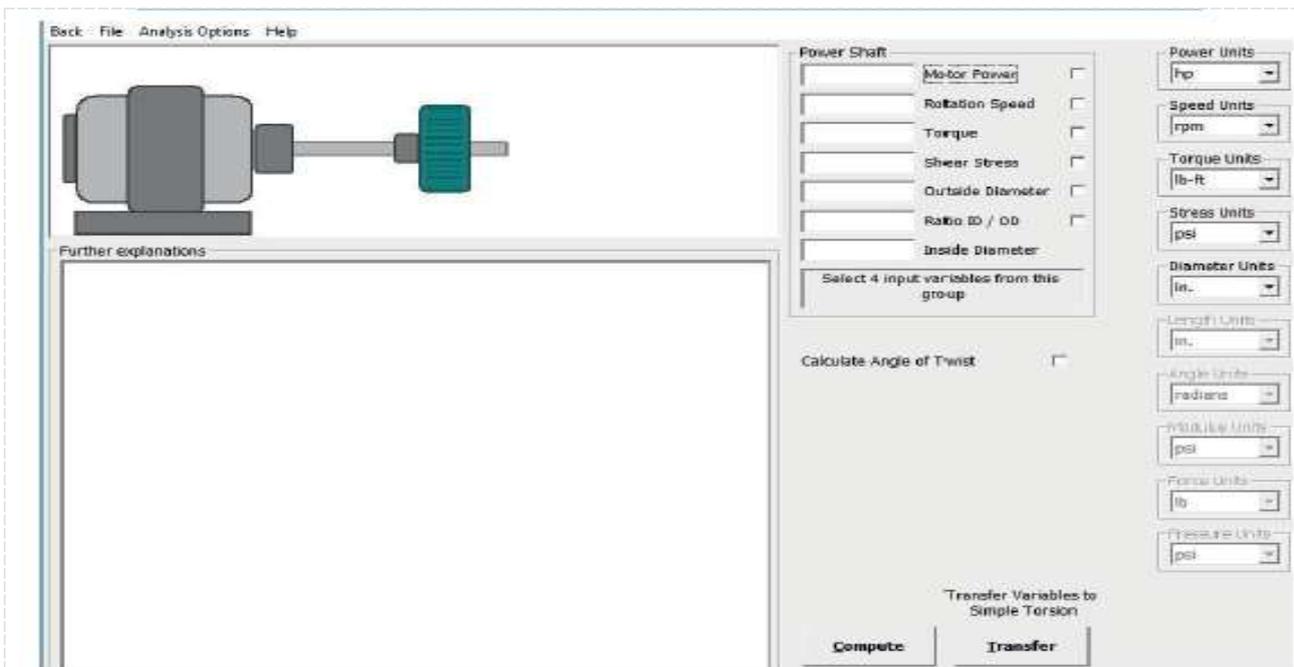
Figura 7 – Tela inicial do software MDSolids



Fonte: Elaborado pelo autor

Dentro deste módulo há várias opções de cálculo que podem ser escolhidos acessando o menu da barra de ferramenta superior: Analysis Options. Para esta atividade escolha, a opção Power Shaft; assim, irá aparecer a interface conforme apresentado na Figura 8.

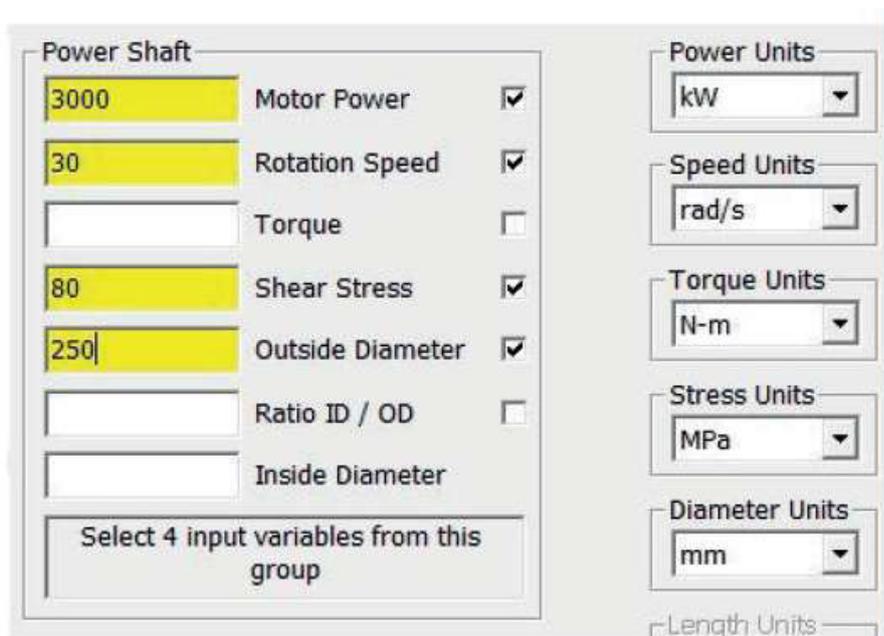
Figura 8 – Interface de inserção dos dados do eixo de transmissão



Fonte: Elaborado pelo autor

Nas colunas a direita, ajuste as unidades das grandezas utilizadas e insira as informações fornecidas no enunciado da atividade. A Figura 9 apresenta como ficará as informações.

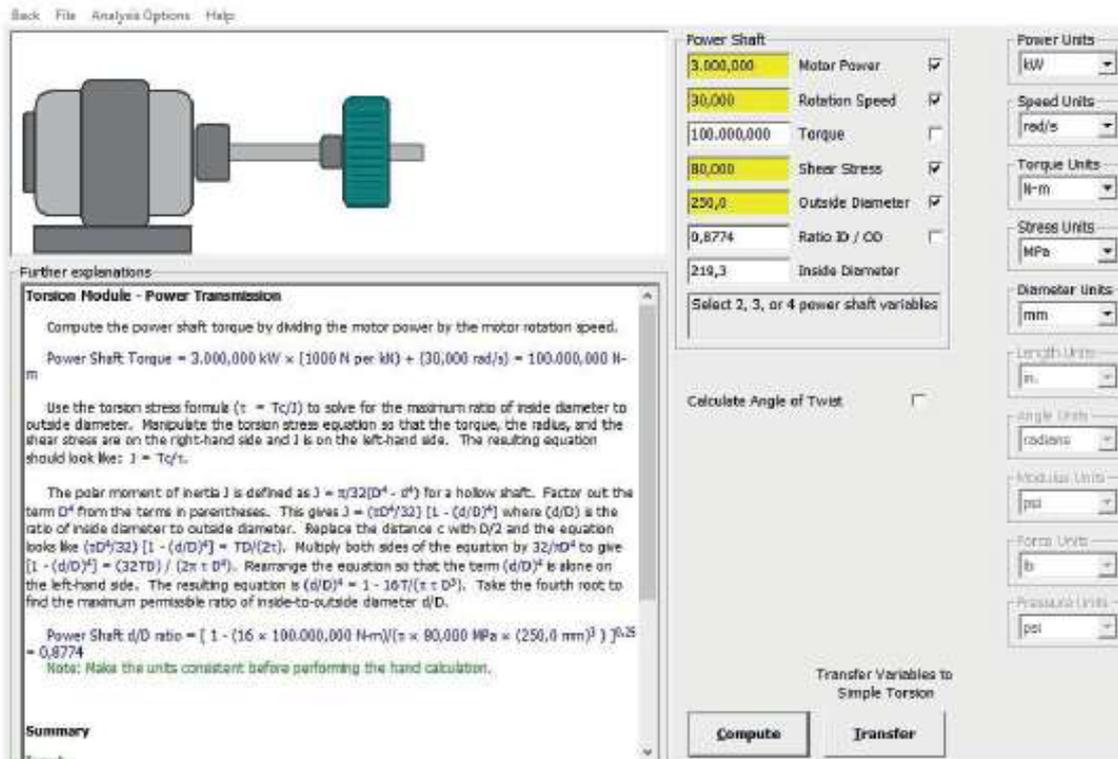
Figura 9 – Apresentação dos dados e unidades ajustadas no programa



Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida, acione o botão compute e obtenha os resultados, conforme a Figura 10. Compare os resultados com os obtidos de forma manual aplicando os conceitos vistos em aula.

Figura 10 – Apresentação dos resultados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Checklist:

Na segunda etapa do experimento:

- Abrir o software MDSolids;
- Acionar o botão Torsion na aba MDSolids Modules;
- Escolher a opção Power Shaft dentro da barra de ferramenta superior Analysis Options;
- Ajustar as unidades na coluna da direita e preencher as informações conforme enunciado;
- Acionar o botão compute para obter os resultados e comparar com os calculados de forma manual.

RESULTADOS

Resultados de Aprendizagem:

Ao final, deverá ser elaborado, fora do laboratório, um relatório que contendo introdução, métodos, resultados e conclusão sobre os dois experimentos realizados nessa aula.

Unidade: 2

Seção: 3

Roteiro Aula Prática



RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS AVANÇADO

ROTEIRO DE AULA PRÁTICA

NOME DA DISCIPLINA: RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS AVANÇADO

Unidade: FLEXÃO EM BARRAS

Seção: Flexão assimétrica

OBJETIVOS

Definição dos objetivos da aula prática:

Aplicar os conceitos teóricos de cálculo da deformação da linha elástica em uma viga isostática utilizando um software de análise estrutural.

Compreender a utilização do software para análise de estrutura.

Comparar o método de resolução manual com computacional.

INFRAESTRUTURA

Instalações – Materiais de consumo – Equipamentos:

LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA

Equipamentos:

- Desktop Engenharia Positivo Master D3400
- ~ 1 un para cada aluno

SOLUÇÃO DIGITAL

- FTOOL (Software)

Ftool: é um software de análise estrutural para engenheiros civis.

EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

Não se aplica

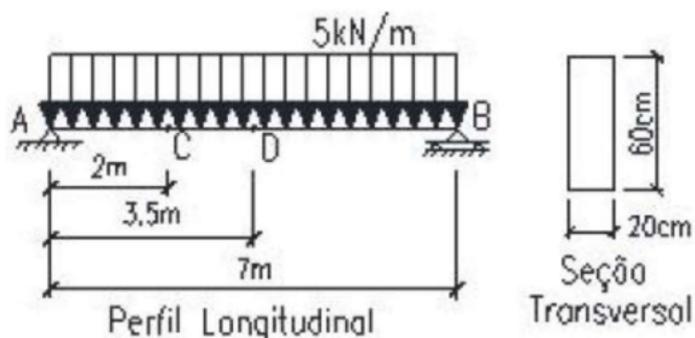
PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

Procedimento/Atividade nº 1 (Físico)

Atividade proposta:

Para a viga de concreto (módulo de elasticidade longitudinal igual a 25 000 MPa) bi-apoiada apresentada na figura 1, determinar o deslocamento vertical da linha elástica no ponto C, localizado a 2m do apoio A, e no ponto D, localizado a 3,5m do mesmo apoio. Realize os cálculos primeiramente à mão, inclusive do momento de inércia da seção transversal, e utilize o software para comparar os resultados.

Figura 1 – viga bi-apoiada



Fonte: Elaborada pelo autor

Procedimentos para a realização da atividade:

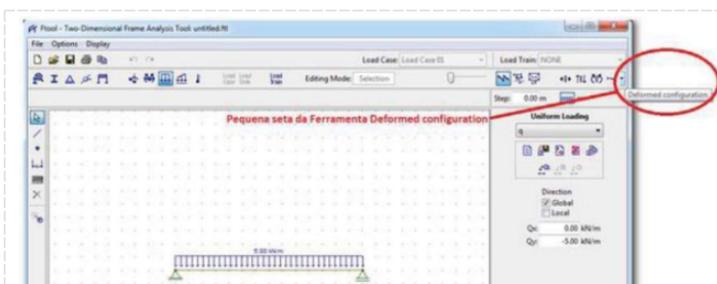
Para a realização desta atividade, deve-se abrir o software Ftool. Depois você precisa “lançar” a estrutura (entrar com os dados) definindo a barra, os apoios, a ST, o material que compõe a viga e o carregamento, como foi mostrado na aula prática anterior. Note que, no caso desta estrutura, você pode definir o Grid em 0,5 m.

Crie dois nós, um para o ponto C (a 2 m do apoio A) e outro para o ponto D, no meio do vão da viga (a 3,5 m do apoio A). Antes de prosseguir, salve seu trabalho (clique no comando File e escolha a opção Save).

a) Determinando o valor da flecha (deformação da linha elástica) nos pontos C e D

Depois que entrar com os dados da estrutura e salvar seu trabalho, clique na ferramenta Deformed configuration. Note que existem dois “botões” com o nome dessa ferramenta, um ao lado do outro. Nesta etapa, você deve clicar na pequena seta para baixo, localizada no extremo da região à direita da tela, conforme indica a figura 2.

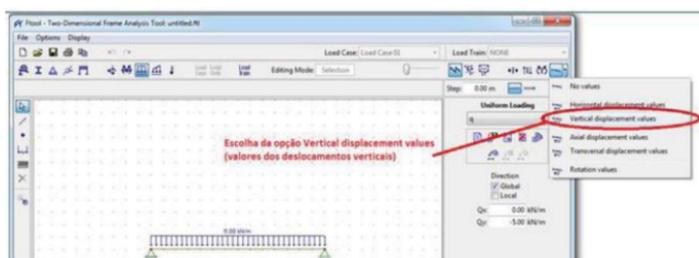
Figura 2 – configurando qual a deformação que será exibida na tela pelo diagrama



Fonte: Elaborado pelo autor com captura de tela do FTool

Na janela que será aberta, escolha a opção Vertical displacement values, conforme indicado na figura 3 a seguir.

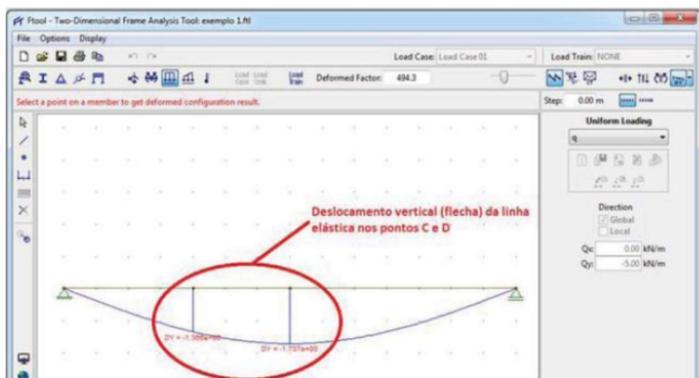
Figura 3 – escolhendo a exibição do deslocamento vertical da linha elástica (flecha)



Fonte: Elaborado pelo autor com captura de tela do FTool

A janela que será aberta mostra os valores da deformação da linha elástica (flechas) nos pontos C e D, conforme mostra a figura 4.

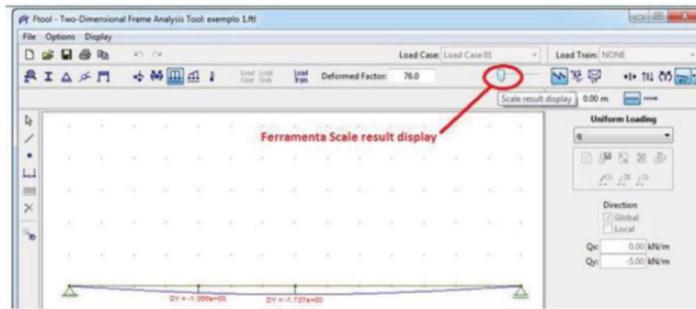
Figura 4 – mostrando a posição deformada da linha elástica com evidência para pontos C e D



Fonte: Elaborado pelo autor com captura de tela do FTool

Caso a escala do diagrama dos deslocamentos não seja satisfatória, ajuste-a arrastando para a direita (amplia) ou para a esquerda (reduz) a ferramenta Scale result display, como mostrado na figura 5.

Figura 5 – ajustando a escala do diagrama (essa ferramenta serve, também, para ajustar a escala de exibição das cargas)



Fonte: Elaborado pelo autor com captura de tela do FTool

Salve seu trabalho.

Checklist (*)

Para a solução com os cálculos manuais:

1. Determine o centroide da ST.
2. Determine o momento de inércia I_z .
3. Determine as reações de apoio.
4. Determine a equação de momento fletor ($M(x)$). Como só há um tipo de carregamento, há apenas uma única equação para o intervalo $0 = x = 7$.

5. Encontre a equação
$$\frac{d^2 \mu_y}{dx^2} = -\frac{M(x)}{EI_z}$$

6. Encontre a equação da inclinação da linha elástica $\left(\frac{d\mu}{dx}\right)$ integrando uma vez a equação de $\frac{d^2 \mu_y}{dx^2}$. Como a integral é indefinida, aparecerá uma constante C1.

7. Encontre a equação da linha elástica i integrando uma vez a equação da inclinação da linha elástica $\left(\frac{d\mu}{dx}\right)$. Como a integral é indefinida, aparecerá uma constante C2.

8. Encontre os valores das constantes C1 e C2 impondo as condições de contorno do problema. Neste caso, essas condições são $\mu = 0$ quando $x = 0$ e quando $x = 7$.

9. Determine a equação final da linha elástica ($\mu(x)$) substituindo os valores encontrados para as constantes C1 e C2.

10. Substitua o valor do x dos pontos C ($x = 2$) e D ($x = 3,5$) na equação final da linha elástica para determinar os valores das deformações nesses pontos.

Para a solução computacional:

Abra o software Ftool e lance a estrutura como já explicado na primeira aula prática, feito isso:

1. Defina o Grid e o Snap (neste caso, pode ser definido em 0,5 m).
2. Insira a barra
3. Insira os apoios
4. Insira a seção transversal
5. Insira o tipo de material
6. Insira os nós C e D na estrutura
7. Atribua a carga distribuída de 5 kN/m. Salve seu trabalho.
8. Visualização do resultado 8.1) Clique na ferramenta Deformed configuration.
8.2) Escolha a opção Vertical displacement values para visualizar o deslocamento vertical (flecha) dos pontos da linha elástica.
8.3) Ajuste a escala de exibição, se houver necessidade, arrastando a ferramenta Scale result display para a direita ou para a esquerda.
8.4) Anote os valores dos deslocamentos verticais dos pontos C e D. Salve seu trabalho.

Checklist:

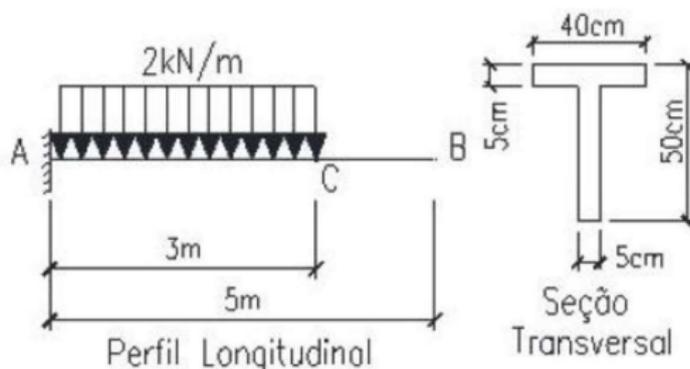
Apresentado ao final dos Procedimentos para a Realização da Atividade (*)

Procedimento/Atividade nº 2 (Físico)

Atividade proposta:

Para a viga metálica (módulo de elasticidade longitudinal igual a 205 000 MPa) em balanço, apresentada na figura 6, determinar o deslocamento vertical da linha elástica no ponto B (extremidade livre). Note que esse é o ponto onde o deslocamento vertical da linha elástica é máximo para esse tipo de viga. Realize os cálculos primeiramente à mão, inclusive do momento de inércia da seção transversal, e utilize o software para comparar os resultados.

Figura 6 – viga em balanço



Fonte: elaborada pelo autor

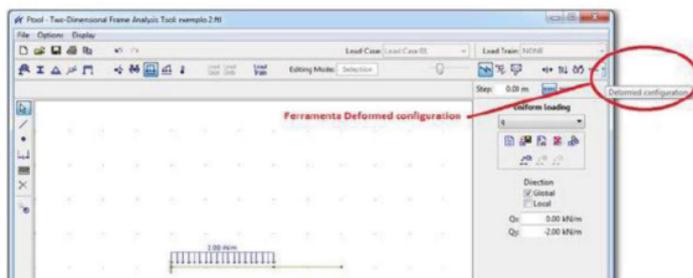
Procedimentos para a realização da atividade:

Para a realização desta atividade, primeiramente deve-se abrir o software Ftool. Depois você precisa “lançar” a estrutura (entrar com os dados) definindo a barra, o engaste, a ST, o material que compõe a viga e o carregamento, como foi mostrado na aula prática anterior. Note que, no caso desta estrutura, você pode definir o Grid em 1 m. Crie um nó para o ponto C (a 3 m do engaste A). Antes de prosseguir, salve seu trabalho (clique no comando File e escolha a opção Save).

a) Determinando o valor da flecha (deformação da linha elástica) no ponto B

Depois que entrar com os dados da estrutura e salvar seu trabalho, clique na ferramenta Deformed configuration. Note que existem dois “botões” com o nome dessa ferramenta, um ao lado do outro. Nesta etapa, você deve clicar na pequena seta para baixo, localizada no extremo da região à direita da tela, conforme indica a figura 7.

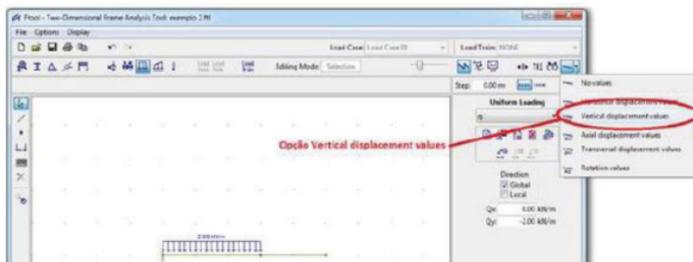
Figura 7 – configurando qual a deformação que será exibida na tela pelo diagrama



Fonte: Elaborado pelo autor com captura de tela do FTool

Na janela que será aberta, escolha a opção Vertical displacement values, conforme indicado na figura 8 a seguir.

Figura 8 – escolhendo a exibição do deslocamento vertical da linha elástica (flecha)

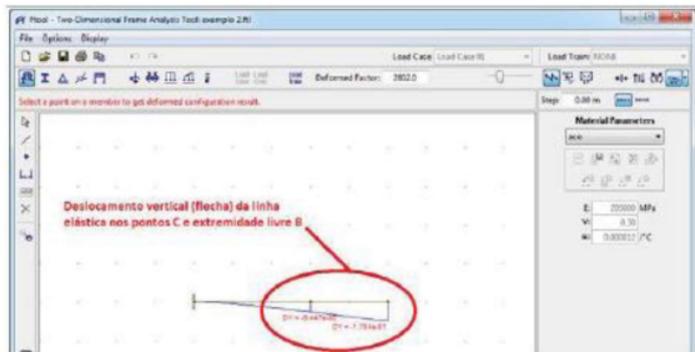


Fonte: Elaborado pelo autor com captura de tela do FTool

A janela que será aberta mostra os valores da deformação da linha elástica (flechas) nos pontos

C e extremidade livre B, conforme mostra a figura 9.

Figura 9 – mostrando a posição deformada da linha elástica com evidência para os pontos C e extremidade livre B



Fonte: Elaborado pelo autor com captura de tela do FTool

Caso a escala do diagrama dos deslocamentos não seja satisfatória, ajuste-a arrastando para a direita (amplia) ou para a esquerda (reduz) a ferramenta Scale result display.

Checklist (*)

Para a solução com os cálculos manuais:

1. Determine o centroide da ST.
2. Determine o momento de inércia I_z .
3. Determine as reações de apoio.
4. Determine a equação de momento fletor ($M(x)$). Como há dois tipos de carregamento, há duas equações de momento fletor: uma para o intervalo $0 \leq x \leq 3$. E outra para o intervalo $3 \leq x \leq 5$.

5. Encontre a equação $\frac{d^2 \mu_y}{dx^2} = -\frac{M(x)}{E I_z}$ (existem duas, uma para cada intervalo)

6. Encontre as equações (existem duas, uma para cada intervalo) da inclinação da linha elástica

$\left(\frac{d\mu}{dx}\right)$ integrando uma vez a equação de $\frac{d^2 \mu_y}{dx^2}$. Como a integral é indefinida, aparecerá uma constante (C1 para a equação do primeiro intervalo e C3 para a do segundo intervalo).

7. Encontre as equações (existem duas, uma para cada intervalo) da linha elástica ($\mu(x)$)

integrando uma vez a equação da inclinação da linha elástica $\left(\frac{d\mu}{dx}\right)$. Como a integral é indefinida, aparecerá uma constante (C2 para a equação do primeiro intervalo e C4 para a do segundo intervalo).

8. Encontre os valores das constantes (C1 a C4) impondo as quatro condições de contorno do

problema. Neste caso, essas condições são:

- $\mu = 0$ quando $x = 0$

- $d\mu/dx = 0$ quando $x = 0$

- a inclinação da linha elástica dada pela equação do primeiro intervalo é igual a inclinação da linha elástica dada pela equação do segundo intervalo quando $x = 3$.

- a deformação dada pela equação do primeiro intervalo é igual a deformação dada pela equação do segundo intervalo quando $x = 3$.

9. Determine as equações finais da linha elástica ($\mu(x)$) substituindo os valores encontrados para as constantes C1 a C4 (cada equação válida para um determinado intervalo).

10. Substitua o valor do x do ponto B ($x = 5$) na equação final da linha elástica válida para o intervalo $3 \leq x \leq 5$ para determinar o valor da deformação nesse ponto.

Para a solução computacional:

Abra o software Ftool e lance a estrutura como já explicado na primeira aula prática, assim:

1. Defina o Grid e o Snap (neste caso, pode ser definido em 1 m).

2. Insira a barra

3. Insira o engaste

4. Insira a seção transversal

5. Insira o tipo de material

6. Insira o nó C na estrutura

7. Atribua a carga distribuída de 2 kN/m. Salve seu trabalho.

8. Visualização do resultado

9.1) Clique na ferramenta Deformed configuration.

9.2) Escolha a opção Vertical displacement values para visualizar o deslocamento vertical (flecha) dos pontos da linha elástica.

9.3) Ajuste a escala de exibição, se houver necessidade, arrastando a ferramenta Scale result display para a direita ou para a esquerda.

9.4) Anote o valor do deslocamento vertical do ponto B (extremidade livre). Salve seu trabalho

Checklist:

Apresentado ao final dos Procedimentos para a Realização da Atividade (*)

Procedimento/Atividade nº 1 (Virtual)

Atividade proposta:

Aplicar os conceitos de flexão pura e simples no dimensionamento de estruturas de barra

Procedimentos para a realização da atividade:

Descrição do software

O Ftool (Two-dimensional Frame Analysis Tool) é um software que foi desenvolvido por meio de um projeto de pesquisa desenvolvido na PUC – Rio com apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), que auxilia na análise estrutural de estruturas planas

reticuladas, sendo inicialmente desenvolvido para fins educacionais. Com isso, atualmente existem duas versões desse software: uma básica que é gratuita e uma comercial, que apresenta

funcionalidades para uso profissional.

Na versão básica do Ftool, é possível analisar as estruturas obtendo os diagramas de esforços internos (esforço normal, esforço cortante e momento fletor), deformadas e linha de influência, para o caso de cargas móveis e os membros estruturais podem ser calculados considerando as teorias de Euler-Bernouilli ou Timoshenko. E, dentre as vantagens da utilização desse software a é a sua interface simples e amigável com o usuário, e que reúne vários recursos para a modelagem e visualização dos resultados do modelo estrutural, o que permite uma análise estrutural rápida e eficiente dos resultados referentes ao comportamento da estrutura.

Chegou a hora de praticar! Nessa etapa você irá aplicar o conhecimento obtido sobre flexão simples e pura, tornando possível entender como os conceitos aprendidos podem ser aplicados no dia-a-dia da engenharia.

A flexão pura é um fenômeno mecânico essencial no estudo das estruturas de barras, revelando-se

como um ponto focal na análise e projeto de elementos lineares. Quando uma barra é submetida a um momento fletor, ocorre uma deformação predominante de curvatura, caracterizando a flexão pura. Este conceito é de extrema importância em diversas aplicações, desde vigas presentes em estruturas de edifícios até componentes e elementos de máquinas.

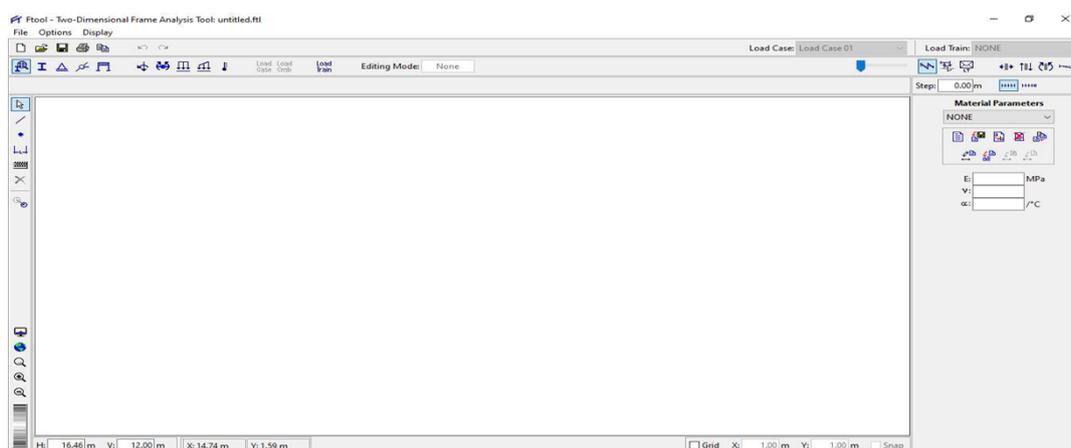
Em estruturas de barras, a relação entre o momento fletor aplicado, as propriedades do material e a geometria da seção transversal torna-se vital para entender como as barras respondem às cargas externas. A flexão pura é particularmente intrigante, pois, em sua forma ideal, exclui a influência de forças cortantes significativas, focando-se principalmente na curvatura induzida pelos momentos.

No âmbito do projeto estrutural, a análise da flexão pura é crucial para garantir a integridade e

eficiência das barras sob cargas específicas. Exploraremos, ao longo deste estudo, os princípios fundamentais por trás da flexão pura em estruturas de barras, destacando como esses conceitos moldam não apenas a resposta mecânica desses elementos, mas também a maneira como são concebidos e otimizados para enfrentar desafios estruturais em uma variedade de aplicações práticas.

Após a instalação do programa e abertura da tela, seguir os seguintes passos para o problema proposto. Todos os passos estarão indicados com seta e texto explicativo. A Figura 1 indica qual é a tela principal do programa

Figura 1 – Tela principal do FTool



Fonte: Ftool

Para esta aula, considere uma viga de concreto, bi-apoiada, de comprimento igual à 4m. Para o carregamento da estrutura, será considerado o peso próprio do concreto (25 kN/m^3) uniformemente distribuído ao longo de todo comprimento da viga. Para esta situação serão avaliadas quatro diferentes seções transversais retangulares, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões das seções transversais a serem analisadas

Seção	Largura (cm)	Altura (cm)
1	15	20
2	15	25
3	15	30
4	15	35

Fonte: A autora

Para cada uma das seções transversais você deverá calcular a tensão normal devido à flexão. Para fazer esses cálculos, você deve, inicialmente, determinar o momento fletor máximo para cada uma das seções transversais analisadas, calcular o momento de inércia e preencher a Tabela 2, com os seguintes dados:

Tabela 2 – Dados do problema

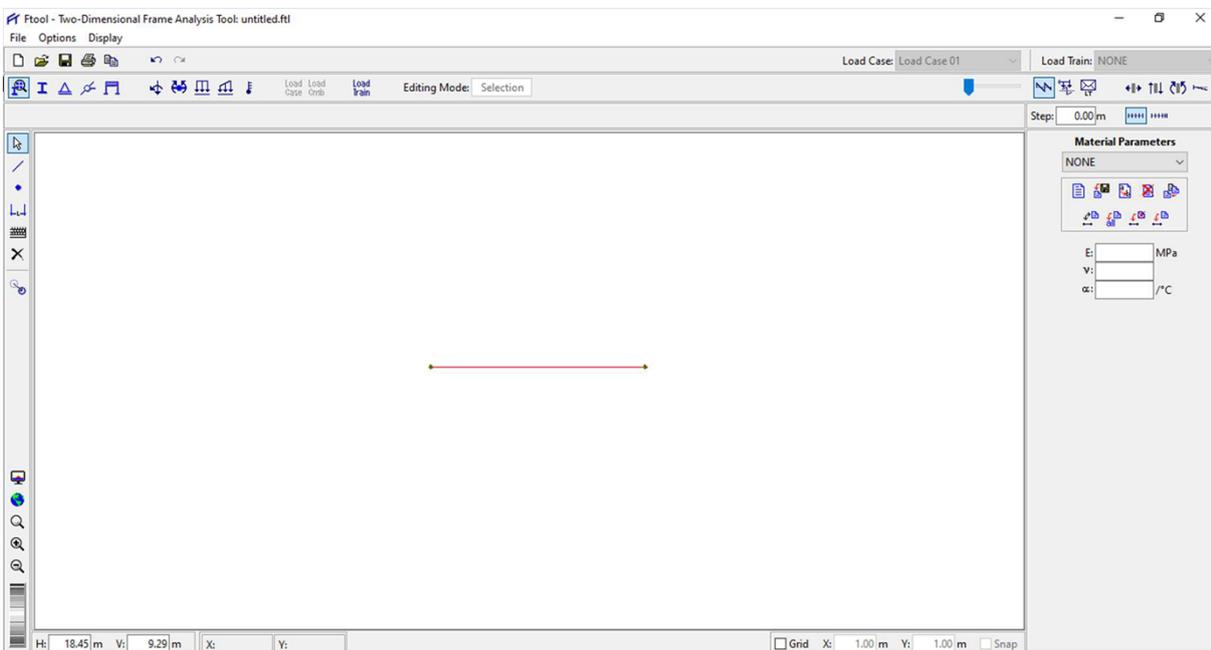
Seção	q (kN/m)	Mmax (kN.m)	I (cm ⁴)	y(cm)	σ_{\max} (kN/cm ²)
1					
2					
3					
4					

Fonte: A autora

Para desenhar a viga no Ftool e atingir o objetivo proposto por essa atividade prática, você deverá seguir os seguintes passos:

- 1) Desenhar a barra da viga, inserindo os respectivos nós que indicam o comprimento das barras, conforme a Figura 2;

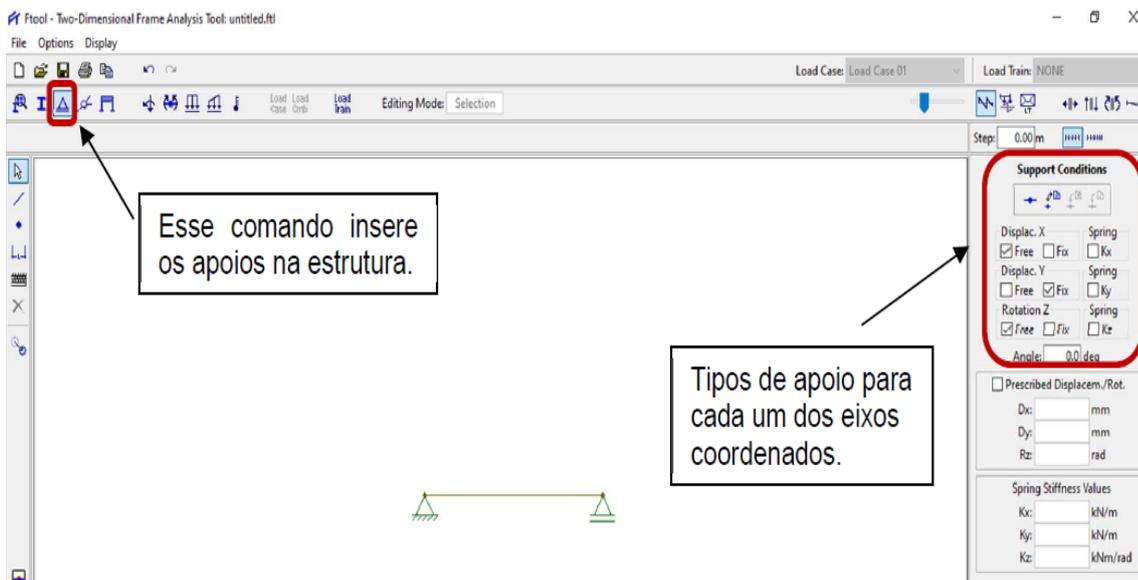
Figura 2 – Construção da geometria da barra



Fonte: A Autora

- 2) Inserir os respectivos apoios, conforme a Figura 3;

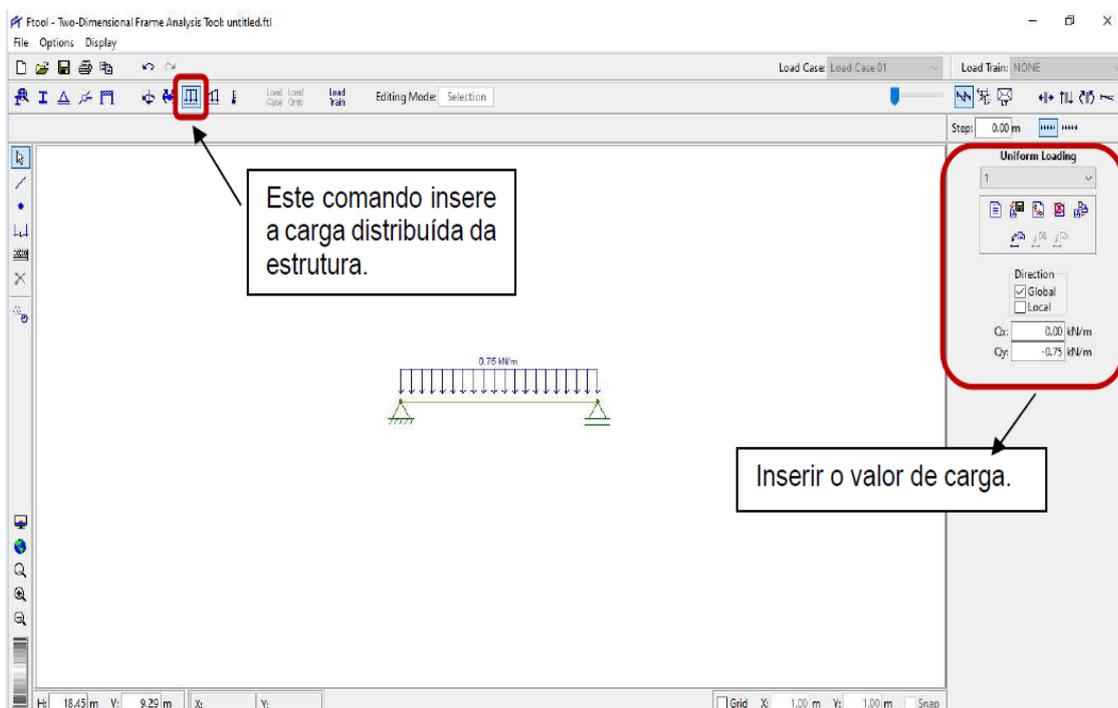
Figura 3 – Inserção dos apoios da estrutura



Fonte: A Autora

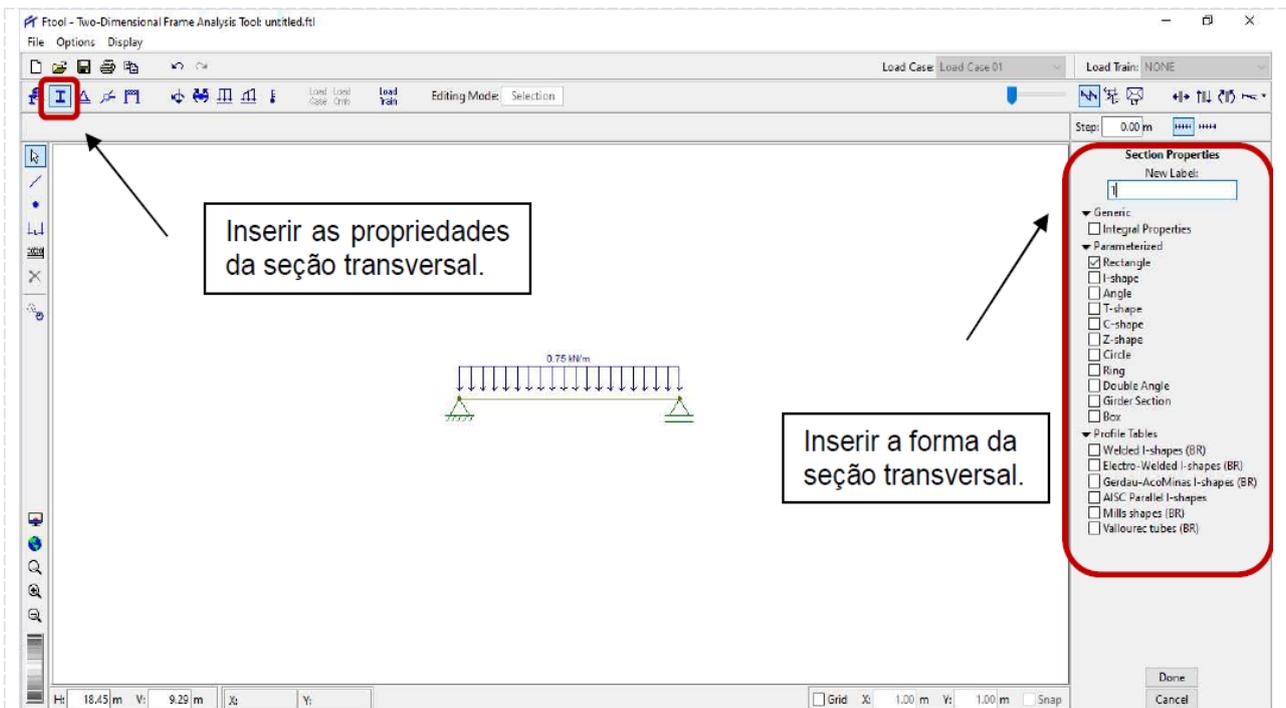
3) Inserir o carregamento distribuído, conforme a Figura 4;

Figura 4 – Inserção do carregamento distribuído



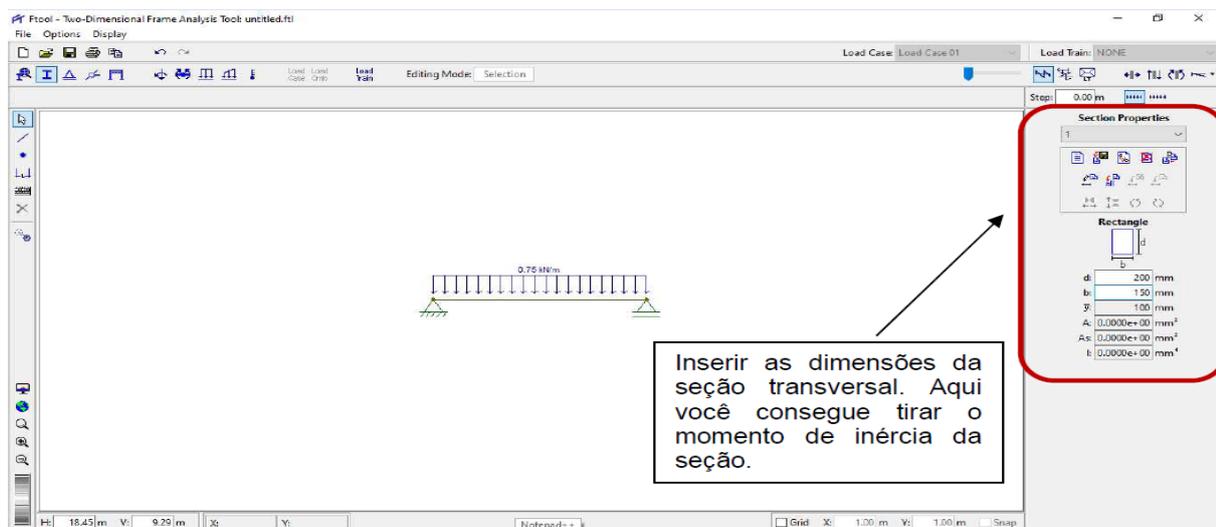
4) Inserir as propriedades do material, conforme as Figuras 5 e 6;

Figura 5 – Inserir as propriedades da seção transversal



Fonte: A Autora

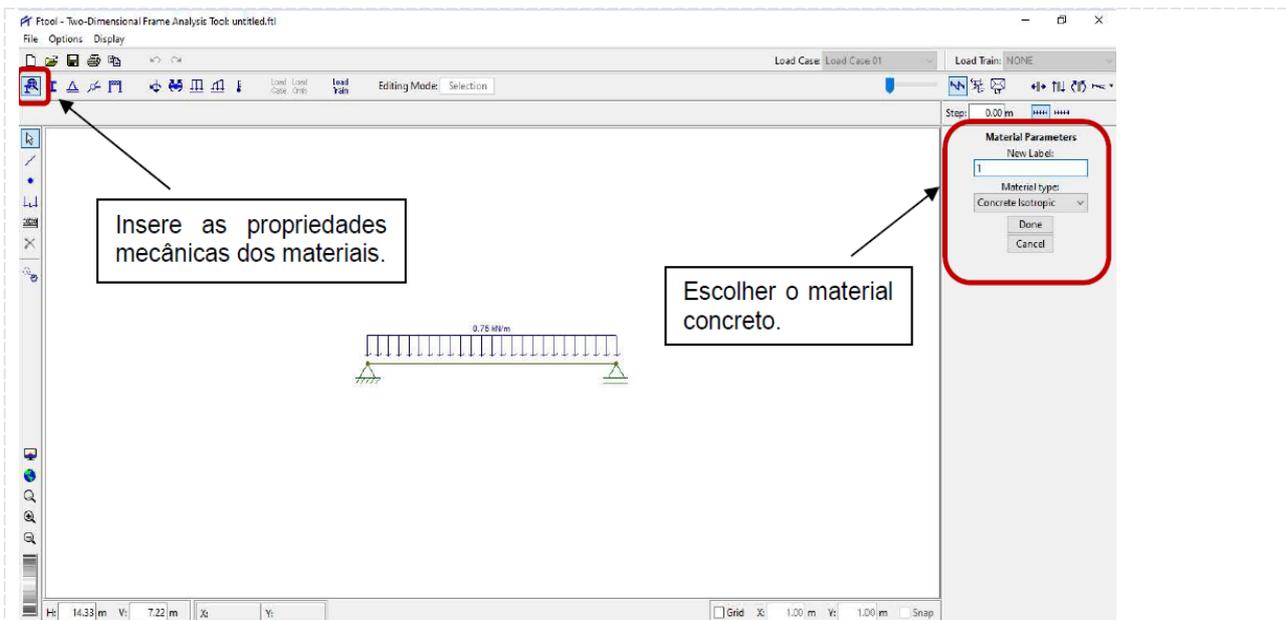
Figura 6 – Inserir as dimensões da seção transversal



Fonte: A Autora

5) Inserir as propriedades da seção transversal, conforme a Figura 7;

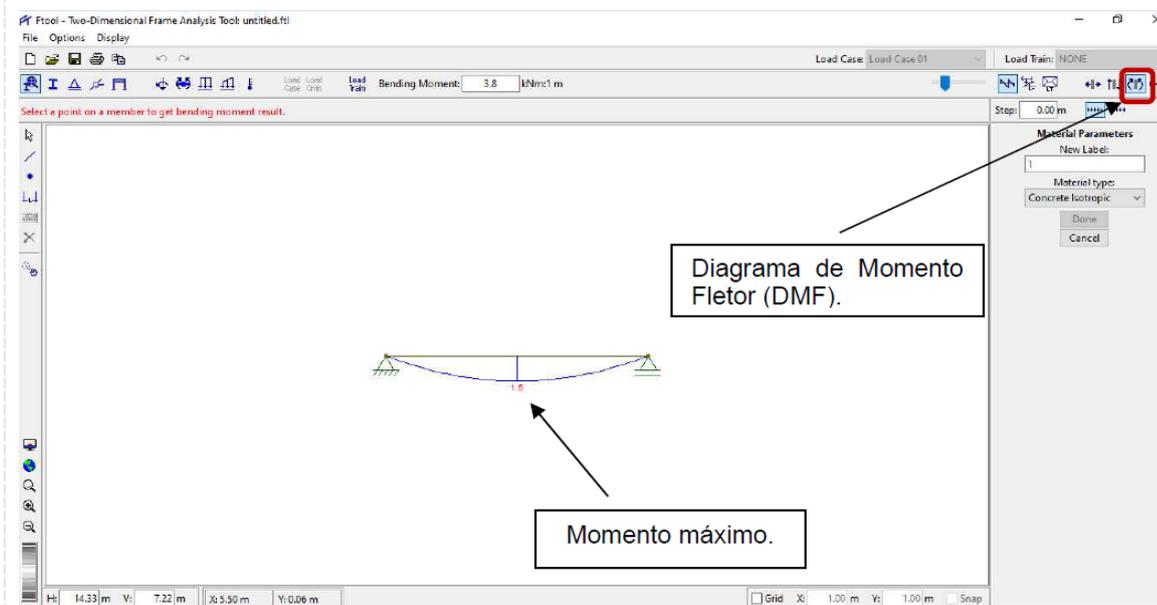
Figura 7 – Inserir as propriedades mecânicas do material



Fonte: A Autora

6) Obter o diagrama de momento fletor (DMF), conforme a Figura 8;

Figura 8 – Diagrama de momento fletor



Fonte: A Autora

- 7) Preencher os dados da Tabela 2;
- 8) Calcular a tensão normal devido à flexão para cada um dos casos
- 9) Repetir os passos anteriores para as outras seções transversais;
- 10) Responder a seguinte pergunta: Como a alteração da altura da seção transversal influencia no comportamento da estrutura?

Após seguir os passos da atividade, você deverá pensar sobre qual é a resposta para a pergunta feita. No final, espera-se que você consiga compreender a aplicação dos conceitos estudados nesta unidade e a sua para aplicações em problemas de engenharia.

Checklist:

Para a realização dessa atividade prática, você não deve esquecer:

- Instalar o programa;
- Seguir os passos descritos não esquecendo de verificar as unidades das grandezas;
- Coletar os resultados solicitados;
- Resolver os exemplos à mão para verificar as respostas obtidas com o uso do programa;
- Responder à pergunta chave dessa atividade;

RESULTADOS

Resultados de Aprendizagem:

Ao final, deve ser elaborado, fora do laboratório, um relatório que contendo introdução, métodos, resultados e conclusão sobre os dois experimentos realizados nessa aula.

Unidade: 3

Seção: 2

Roteiro Aula Prática



RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS AVANÇADO

ROTEIRO DE AULA PRÁTICA

NOME DA DISCIPLINA: RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS AVANÇADO

Unidade: FLAMBAGEM EM BARRAS

Seção: Flambagem para barras bi-articuladas

OBJETIVOS

Definição dos objetivos da aula prática:

- Aplicar os conceitos teóricos de cálculo da carga crítica de colunas utilizando um software de análise estrutural;
- Ter noção de como utilizar software para análise de estrutura;
- Comparar método de resolução manual com computacional.

INFRAESTRUTURA

Instalações – Materiais de consumo – Equipamentos:

LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA

Equipamentos:

- Desktop Engenharia Positivo Master D3400
- ~ 1 un para cada aluno

SOLUÇÃO DIGITAL

- MDSOLIDS (Software)

MDSolids é um software para tópicos ensinados no curso de Mecânica dos Materiais (também comumente chamado de Resistência dos Materiais ou Mecânica dos Sólidos Deformáveis).

EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

Não se aplica

PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

Procedimento/Atividade nº 1 (Físico)

Atividade proposta:

Vamos refazer a questão 2 da seção 3.2, do livro didático, e comparar os resultados dados pelo programa com o que calculamos anteriormente.

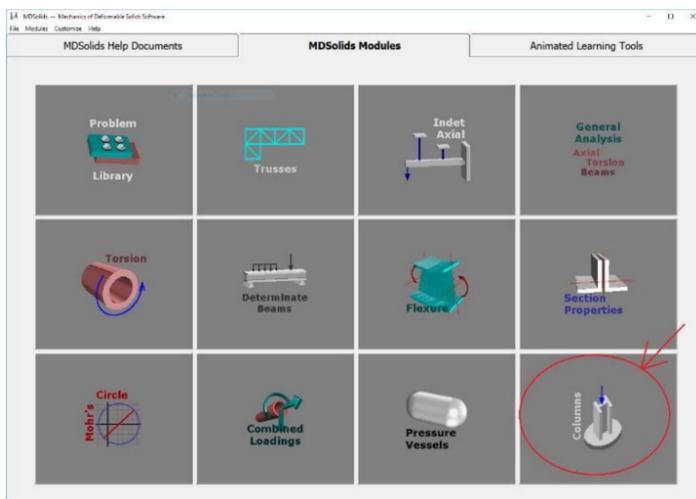
Uma coluna com perfil W150x13 é utilizada para suportar uma cobertura. O comprimento da coluna é 2 m e o módulo de elasticidade do aço é $E = 200 \text{ GPa}$ e a tensão de escoamento é $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$. Quais são, respectivamente, as cargas críticas para a coluna caso ela tenha as seguintes vinculações: 1. Biarticulada; 2. Biengastada; 3. Engastada/articulada; 4. Engastada/livre?

Procedimentos para a realização da atividade:

Inicialmente, abra o software MDSolids. Em seguida, realize os seguintes passos (a. – k.):

a. Clique na opção Columns para acessar o menu de colunas.

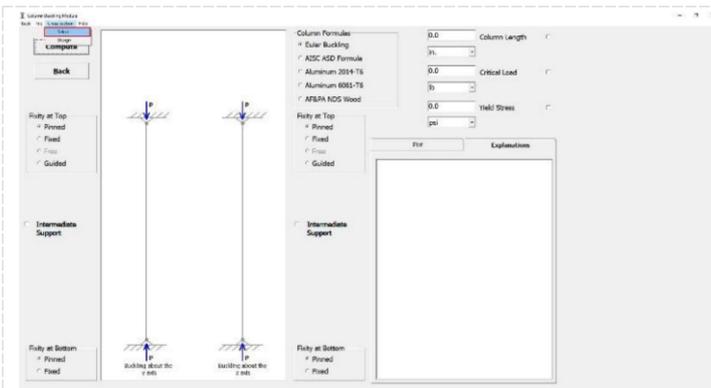
Figura 3.1 – Acessar o menu colunas



Fonte: Captura de tela do MDSolids

b. Ainda não mude nenhuma configuração. Antes de iniciarmos, devemos definir a seção transversal da coluna. Na barra de ferramentas, clique na opção Cross Section e em seguida clique em Select. Isso irá abrir o módulo de escolha da seção transversal.

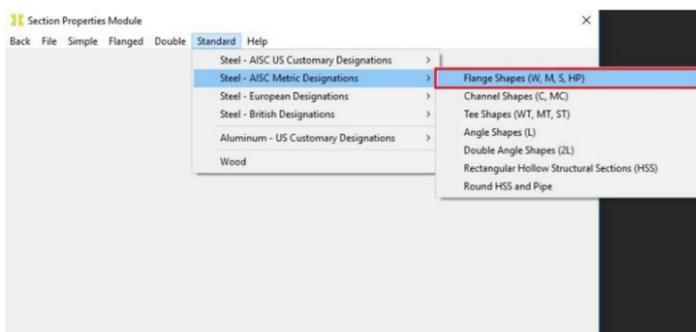
Figura 3.2 – Definição da seção transversal



Fonte: Captura de tela do MDSolids

c. Na janela aberta, clique em Standard >> Steel – AISC Metric Designations >> Flange Shapes (W, M, S, HP).

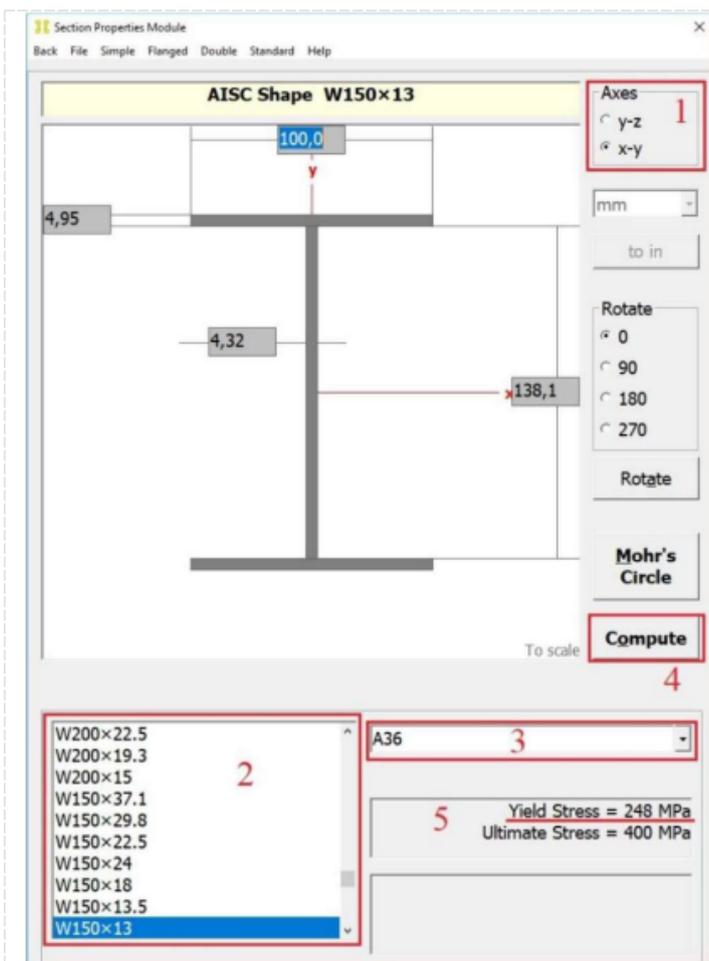
Figura 3.3 – Definição do material



Fonte: Captura de tela do MDSolids

d. A seguinte janela se abrirá. Em 1, mude o eixo para a opção x-y. Em 2, selecione o perfil do aço estrutural. Para ficar similar ao exercício realizado na unidade 3.2, selecione W150x13. Em 3, selecione o material do aço. Idem ao item anterior, selecione Aço A36. Note que em 5, a tensão de escoamento, dada por Yield Stress é de 248 MPa, o que poderá causar uma pequena variação com os resultados encontrados no exercício teórico. Por fim, clique em Compute (4).

Figura 3.4 – Nova janela para definição de material



Fonte: Captura de tela do MDSolids

e. A seguinte janela se abrirá com as propriedades da seção transversal. Em 1 temos o módulo de elasticidade. Em 2 a área da seção transversal. Em 3 e 4 os momentos de inércia máximo e mínimo, respectivamente. Essa janela é apenas para visualização. Ao fim da leitura dos dados, feche a janela.

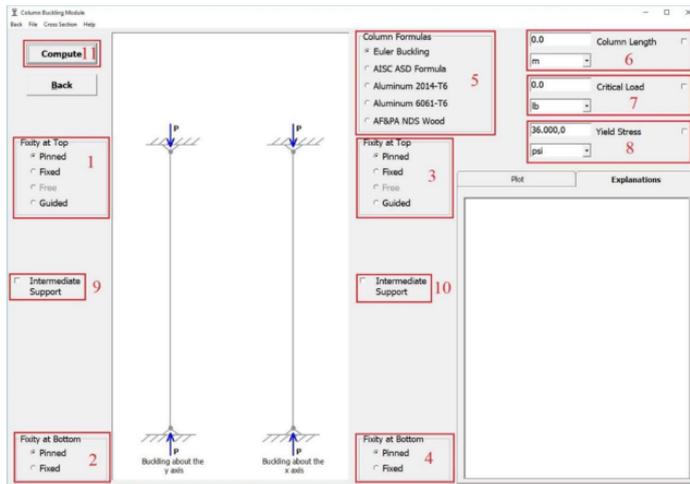
Figura 3.5 – Propriedades da seção transversal

X Axis Properties			
Elastic Modulus	1 E	200,0000	GPa
From bottom to centroid	y (bot)	74,0000	mm
From centroid to top	y (top)	74,0000	mm
Area of shape	2 A	1.630,0000	mm ²
Moment of Inertia	Ix	6,2000E+06	mm ⁴
Section Modulus	Sx	83.600,0000	mm ³
Section Modulus (bottom)	S (bot)	83.600,0000	mm ³
Section Modulus (top)	S (top)	83.600,0000	mm ³
Radius of Gyration	rx	61,7000	mm
Plastic Modulus	Zx	93.900,0000	mm ³
Shape Factor		1,1232	
From bottom to plastic n.a.	yp (bot)	74,0000	mm
From plastic n.a. to top	yp (top)	74,0000	mm
Polar Moment of Inertia	J	13.900,0000	mm ⁴
Product of Inertia	Ixy	0,0000	mm ⁴
Maximum Moment of Inertia	3 Imax	6,2000E+06	mm ⁴
Minimum Moment of Inertia	4 Imin	828.000,0000	mm ⁴
Angle from x axis to Imax axis	B	0,0000	degrees
		Counterclockwise	

Fonte: Captura de tela do MDSolids

f. Você retornará para a janela do passo d. Clique em Back no canto superior esquerdo. Você retornará para a janela de configuração da coluna do passo b.

Figura 3.6 – Janela de configuração de coluna



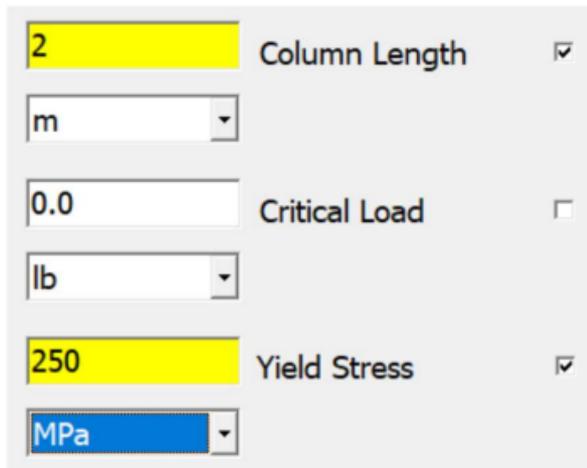
Fonte: Captura de tela do MDSolids

Aqui são realizadas as configurações para o cálculo do problema. Em 1 você seleciona a fixação do suporte superior em relação ao eixo y. Em 2 você seleciona a fixação do suporte inferior em relação ao eixo y. Em 3 você seleciona a fixação do suporte superior em relação ao eixo x. Em 4 você seleciona a fixação do suporte inferior em relação ao eixo x. No item 5, não altere nada, pois apenas utilizaremos a fórmula de Euler. No item 6 é adicionada o comprimento da coluna. Para alterar o valor, você deve selecionar a caixa que fica ao lado item. Similar ao

item 6, em 7 e 8 você pode selecionar a carga crítica de Euler e a tensão de escoamento do aço. Lembrando que você não consegue selecionar todos ao mesmo tempo, pois o item desmarcado será o item a ser calculado. Em 9 e 10 você pode adicionar suportes intermediários. Por fim, em 11 você confirma os dados e o programa irá realizar os cálculos.

g. Inicialmente, altere apenas o comprimento da coluna (6) e a tensão de escoamento (8), para 2 m e 250 MPa, respectivamente. Mantenha todos os suportes como Pinned (articulado).

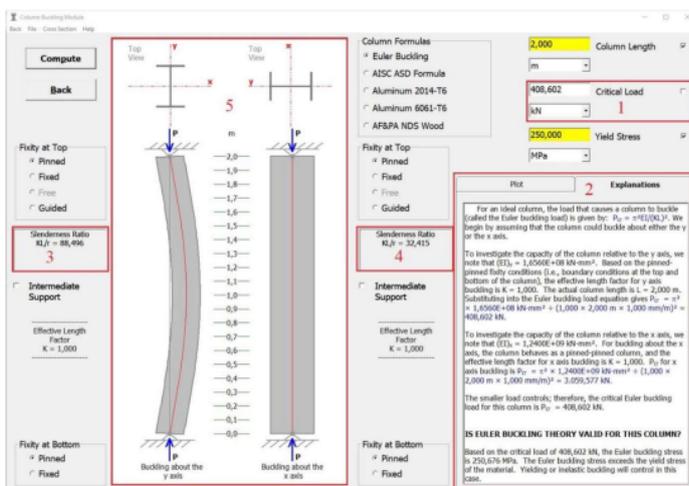
Figura 3.7 – Definições



Fonte: Captura de tela do MDSolids

h. Os resultados serão exibidos da seguinte forma:

Figura 3.8 – Dados exibidos



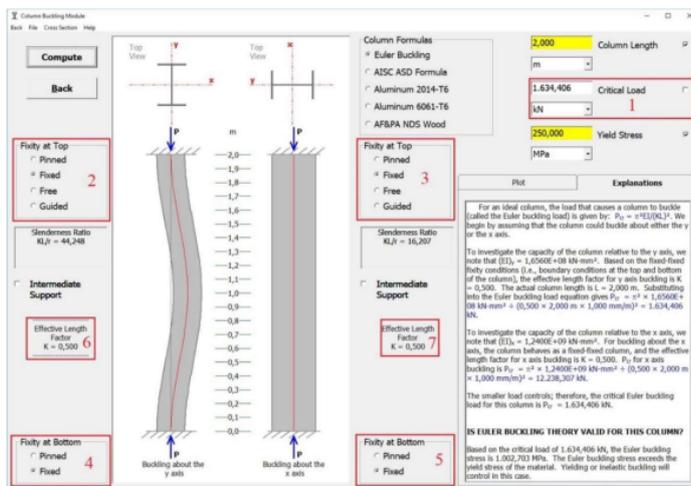
Fonte: Captura de tela do MDSolids

Em 1 temos o resultado da carga crítica para a coluna biarticulada (408,602 KN). Note que o

valor é similar a questão 2 da seção 3.2. O valor não é idêntico devido a pequena diferença dos momentos de inércia utilizados na questão e dos calculados pelo programa. No item 2 temos uma breve explicação do cálculo da carga crítica. Em 3 e 4 temos os índices de esbeltez em cada eixo. Note que em 5 a coluna flambou em relação ao maior índice de esbeltez (3). No item 5, temos a visualização deformada da coluna.

i. Vamos agora repetir o problema para a situação biengastada. Configure todos os suportes para Fixed. Os resultados são exibidos a seguir.

Figura 3.9 – Repetição para situação biengastada

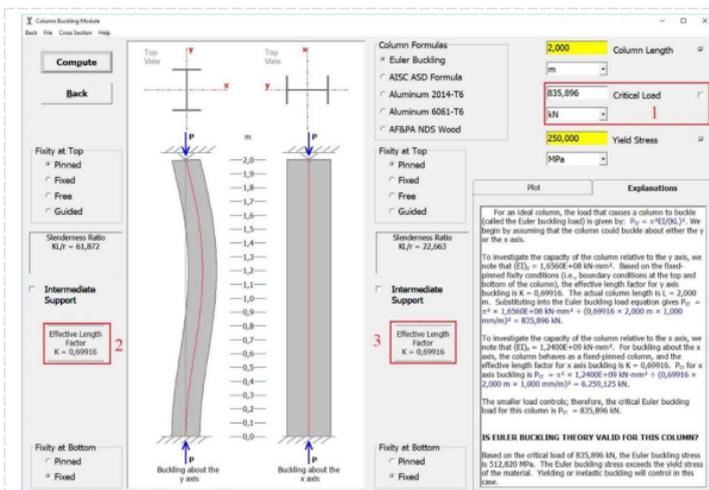


Fonte: Captura de tela do MDSolids

Em 1 temos o valor da carga crítica para a coluna biengastada (1634,406 KN). Note que o valor é similar a questão 2 da seção 3.2. Em 2, 3, 4, 5 note que todos os suportes foram configurados como Fixed. Em 6 e 7 note o comprimento efetivo utilizado ($K = 0,5$).

j. Repita o procedimento para a próxima vinculação (engastada/articulada). Configure os suportes inferiores para Fixed e os superiores para Pinned. Os resultados são exibidos a seguir.

Figura 3.10 – Repetição para engastada/articulada

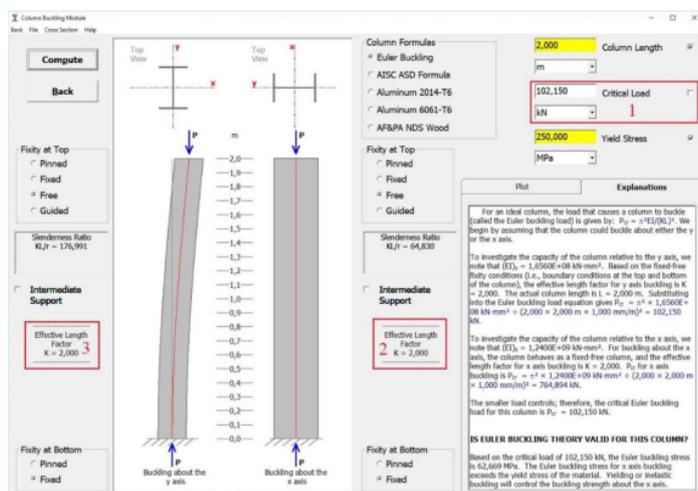


Fonte: Captura de tela do MDSolids

Em 1 temos o valor da carga crítica para a coluna engastada/articulada (835,896 KN). Note que o valor é similar a questão 2 da seção 3.2. Em 2 e 3 note o comprimento efetivo utilizado ($K = 0,69916 \sim 0,7$).

k. Repita o procedimento para a próxima vinculação (engastada/livre). Configure os suportes inferiores para Fixed e os superiores para Free. Os resultados são exibidos a seguir.

Figura 3.11 – Repetição para engastada / livre



Fonte: Captura de tela do MDSolids

Em 1 temos o valor da carga crítica para a coluna engastada/livre (102,50 KN). Note que o valor é similar a questão 2 da seção 3.2. Em 2 e 3 note o comprimento efetivo utilizado ($K = 2$). Portanto, para a coluna apresentada, as cargas críticas são respectivamente: 408,602 KN, 1634,406 KN, 835,896 KN e 102,50 KN.

Checklist (*):

Abra o software MDSolids.

1. Clique na opção Columns para acessar o menu de colunas.
2. Defina a seção transversal da coluna. a) Clique em Standard >> Steel – AISC Metric Designations >> Flange Shapes (W, M, S, HP). b) Selecione o perfil W150x13 e Aço A36. c) Clique em Compute e depois a janela anterior clicando em Back.
3. Altere o comprimento da coluna e a tensão de escoamento para os dados do enunciado.
4. Mantenha todos os suportes como Pinned (articulado). a) Clique em Compute. Os resultados serão exibidos.
5. Repita o problema para a situação biengastada, configurando todos os suportes para Fixed. a) Clique em Compute. Os resultados serão exibidos.
6. Repita o procedimento para a próxima vinculação (engastada/articulada), configurando os suportes inferiores para Fixed e os superiores para Pinned. a) Clique em Compute. Os resultados serão exibidos.
7. Repita o procedimento para a próxima vinculação (engastada/livre), configurando os suportes inferiores para Fixed e os superiores para Free. a) Clique em Compute. Os resultados serão exibidos.
8. Compute todos os resultados e compare com a questão 2 da seção 3.2 do livro didático. Salve seu trabalho clicando em File >> Save as.

Checklist:

Apresentado ao final dos Procedimentos para a Realização da Atividade (*)

Procedimento/Atividade nº 2 (Físico)

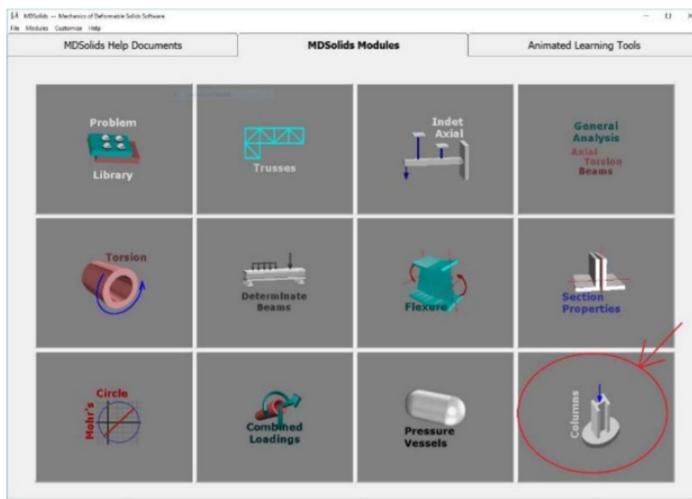
Atividade proposta:

Uma coluna de aço A deve suportar uma carga crítica de 1000 kN sem sofrer flambagem. Dois tipos de colunas podem ser utilizados: uma barra circular de diâmetro 100 mm ou um tubo com diâmetro de 100 mm e espessura de 12,5 mm. O módulo de elasticidade do aço é $E = 200\text{GPa}$ e a tensão de escoamento é $\sigma_y = 250\text{MPa}$. Qual o comprimento máximo que cada coluna pode ter para suportar tal carregamento e qual coluna terá o maior comprimento máximo?

Procedimentos para a realização da atividade:

- a. Clique na opção Columns para acessar o menu de colunas.

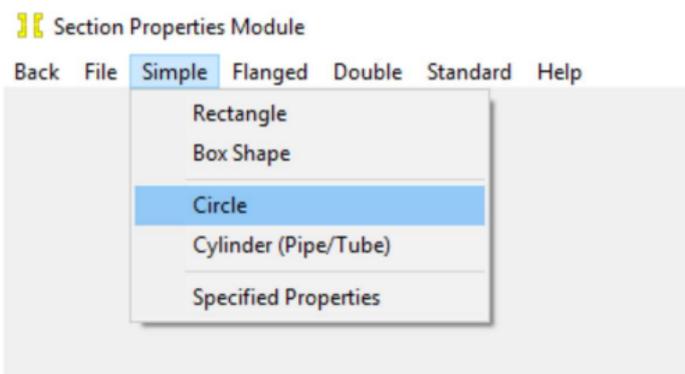
Figura 3.12 – Acessar menu



Fonte: Captura de tela do MDSolids

b. Similar a atividade anterior, devemos definir a seção transversal da coluna. Na barra de ferramentas, clique na opção Cross Section e em seguida clique em Select. Isso irá abrir o módulo de escolha da seção transversal. Na janela que abrir, clique em Simple >> Circle.

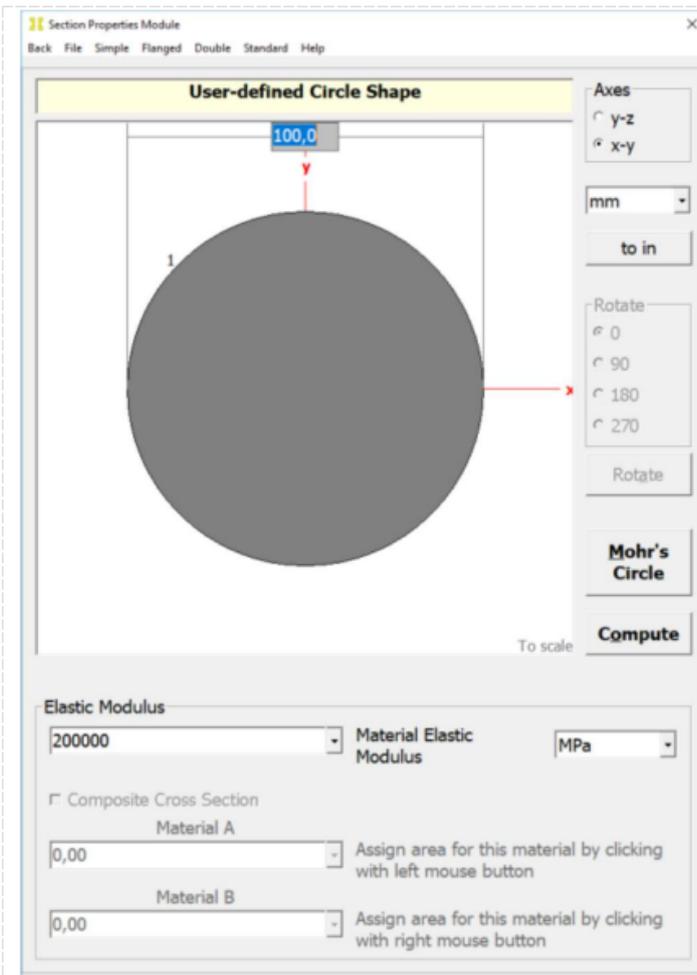
Figura 3.13 – Propriedades da seção



Fonte: Captura de tela do MDSolids 13

c. Defina as propriedades da seção de acordo com os dados do enunciado. Diâmetro de 100 mm e módulo de elasticidade de 200 GPa. Clique em Compute para calcular as propriedades da seção e posteriormente em Back para retornar à janela principal.

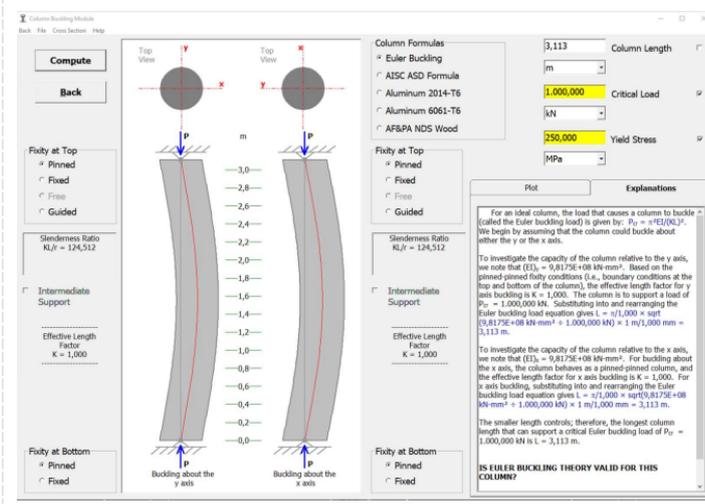
Figura 3.14 – Propriedades da seção circular



Fonte: Captura de tela do MDSolids

d. Altere o carregamento crítico e a tensão de escoamento para os dados do enunciado (1000 KN e 250 MPa respectivamente). Mantenha ambos os suportes como Pinned. Clique em Compute. Os resultados serão exibidos.

Figura 3.15 – Resultados exibidos

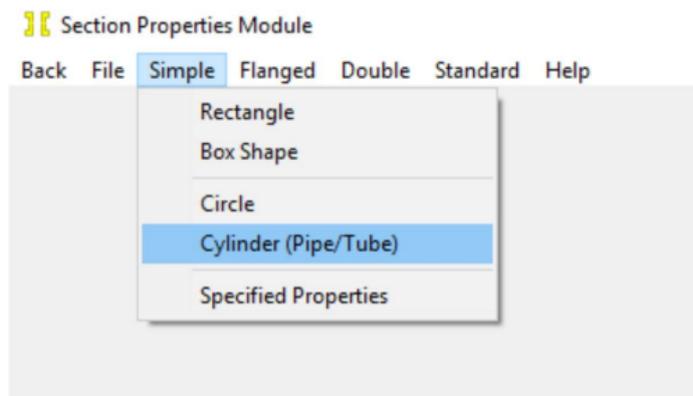


Fonte: Captura de tela do MDSolids

O comprimento calculado da coluna é exibido no campo Column Length, definido como $L = 3,113$ m.

e. Agora repita os passos utilizando o tubo em vez da barra. Na barra de ferramentas, clique na opção Cross Section e em seguida clique em Select. Isso irá abrir o módulo de escolha da seção transversal. Na janela que abrir, clique em Simple >> Cylinder (Pipe/Tube).

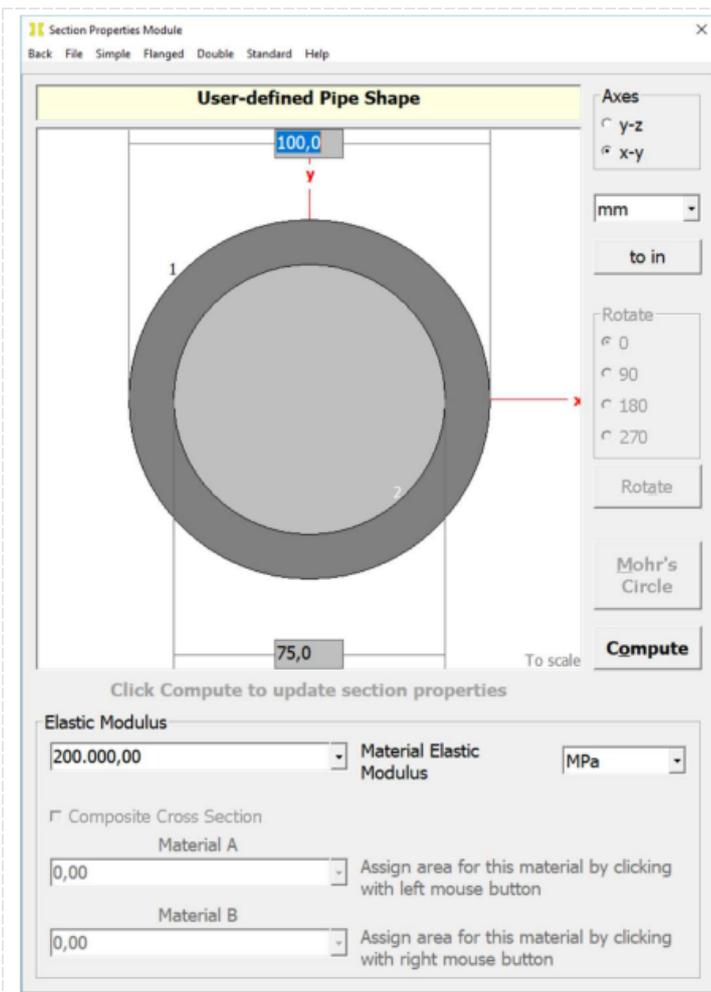
Figura 3.16 – Novas propriedades da seção



Fonte: Captura de tela do MDSolids

f. Defina as propriedades da seção de acordo com os dados do enunciado. Diâmetro de 100 mm e módulo de elasticidade de 200 GPa. Clique em Compute para calcular as propriedades da seção e posteriormente em Back para retornar à janela principal.

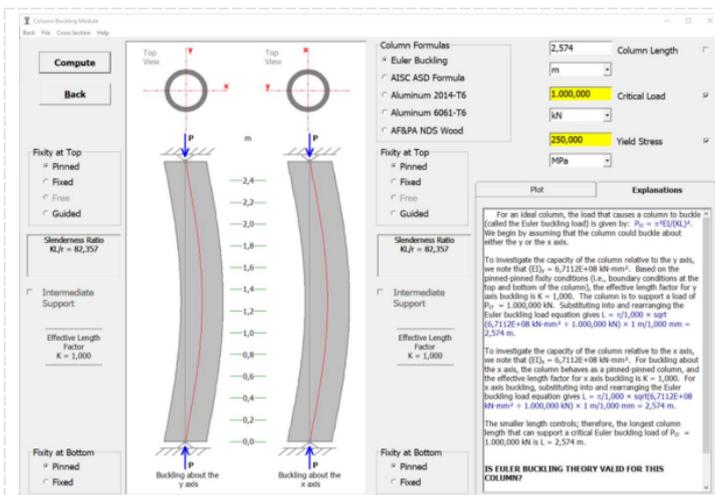
Figura 3.17 – Definição das novas propriedades da seção



Fonte: Captura de tela do MDSolids

g. Os dados já estarão iguais ao cálculo anterior. Caso não estejam, altere o carregamento crítico e a tensão de escoamento para os dados do enunciado (1000 KN e 250 MPa respectivamente). Mantenha ambos os suportes como Pinned. Clique em Compute. Os resultados serão exibidos.

Figura 3.18 – Novos resultados exibidos



Fonte: Captura de tela do MDSolids

O comprimento calculado da coluna é exibido no campo Column Length, definido como $L = 2,574$ m. Portanto, para a barra circular o comprimento máximo para o carregamento crítico de 1000 kN é 3,113 m e o comprimento máximo para o tudo é 2,574 m.

Checklist:

Abra o software MDSolids.

1. Clique na opção Columns para acessar o menu de colunas.
2. Defina a seção transversal da coluna.
 - a. Clique em Simple >> Circle.
 - b. Defina o diâmetro como 100 mm e o módulo de elasticidade como 200 GPa.
 - c. Clique em Compute e depois a janela anterior clicando em Back.
3. Altere a carga crítica da coluna e a tensão de escoamento para os dados do enunciado.
4. Mantenha todos os suportes como Pinned (articulado).
 - a. Clique em Compute. Os resultados serão exibidos.
5. Repita o problema alterando a seção transversal da coluna.
 - a. Clique em Simple >> Cylinder (Pipe/Tube).
 - b. Defina o diâmetro como 100 mm e o módulo de elasticidade como 200 GPa.
 - c. Clique em Compute e depois a janela anterior clicando em Back.
6. Verifique se a carga crítica da coluna e a tensão de escoamento estão corretas, caso contrário altere de acordo com o enunciado.
7. Mantenha todos os suportes como Pinned (articulado).
 - a. Clique em Compute. Os resultados serão exibidos.
8. Compare os resultados de qual coluna poderá ter o maior comprimento máximo. Salve seu

trabalho clicando em File >> Save as

Checklist:

Apresentao ao final dos Procedimentos para a Realizaçao da Atividade (*)

Procedimento/Atividade nº 1 (Virtual)

Atividade proposta:

Verificar o fenômeno de flambagem em colunas com diferentes geometrias, condições de apoios e materiais de fabricação

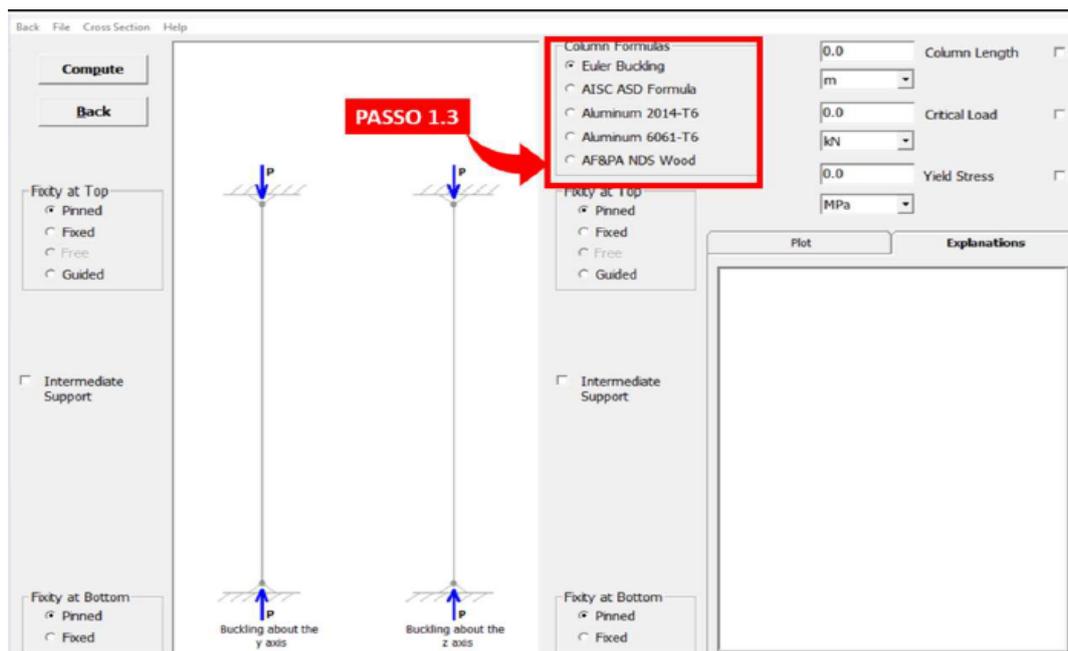
Procedimentos para a realização da atividade:

Passo 1.1: Abrir o Software MDSolids 4.0.1 e clicar no módulo colunas (MDSolis Modules-Columns),

Passo 1.2: Verificar se as unidades estão no Sistema Internacional

Passo 1.3: Verificar se a formulação de Euler (Euler Buckling) está selecionada, conforme Figura

Figura – Descrição passo 1.3

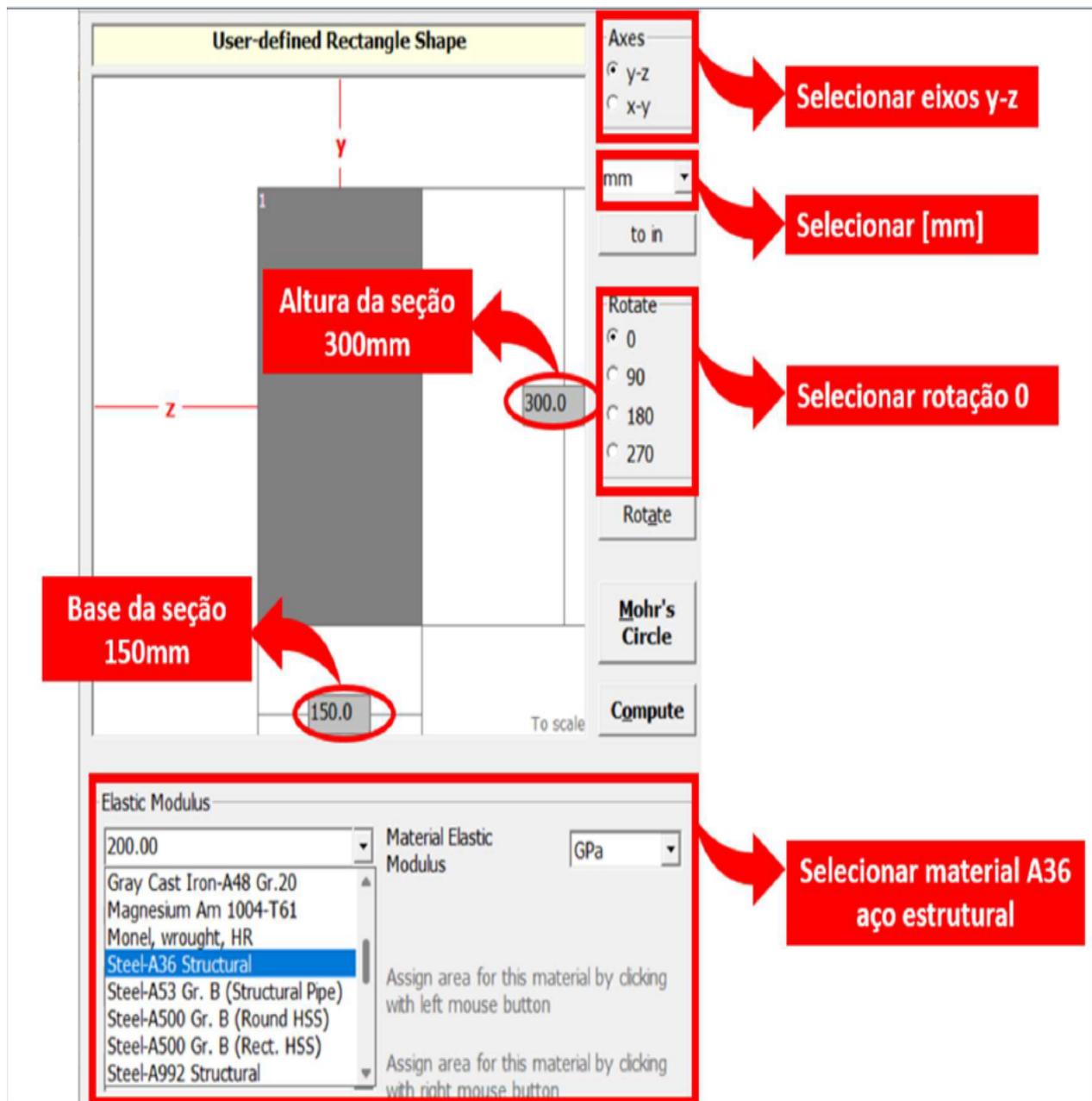


Elaborado pelo autor (2023)

Passo 1.4: Definir as dimensões de uma seção transversal retangular com 300 [mm] x 150 [mm], conforme Figuras a seguir.

- a) Selecionar seção transversal (Cross section - Selection)
- b) Selecionar uma seção simples retangular (Simple - Retangule)
- c) Preencher as informações indicadas na Figura

Figura – Descrição passo 1.4c



Elaborado pelo autor (2023)

d) Calcular as propriedades geométricas em torno do eixo y e eixo z da seção conforme Figura .

Figura – Descrição passo 1.4d

The screenshot displays the 'User-defined Rectangle Shape' dialog box. The dimensions are 150.0 mm (width) and 300.0 mm (height). The 'Compute' button is highlighted with a red box. Below the dialog is a material selection list with 'Steel-A36 Structural' selected. To the right, two windows show the calculated properties for the Z and Y axes. The 'Z Axis Properties' window shows:

Z Axis Properties		
Elastic Modulus		
From bottom to centroid	y (bot)	150.0000 mm
From centroid to top	y (top)	150.0000 mm
Area of shape	A	45,000.0000 mm ²
Moment of Inertia		
	Iz	337.5000E+06 mm ⁴
Section Modulus	Sz	2.2500E+06 mm ³
Section Modulus (bottom)	S (bot)	2.2500E+06 mm ³
Section Modulus (top)	S (top)	2.2500E+06 mm ³
Radius of Gyration	rz	86.6025 mm
Plastic Modulus		
	Zz	3.3750E+06 mm ³
Shape Factor		1.5000
From bottom to plastic n.a.	yp (bot)	150.0000 mm
From plastic n.a. to top	yp (top)	150.0000 mm
Polar Moment of Inertia		
	J	421.8750E+06 mm ⁴
Product of Inertia	Iyz	0.0000 mm ⁴
Maximum Moment of Inertia	Imax	337.5000E+06 mm ⁴
Minimum Moment of Inertia	Imin	84.3750E+06 mm ⁴
Angle from z axis to Imax axis	θ	0.0000 degrees

The 'Y Axis Properties' window shows:

Y Axis Properties		
Elastic Modulus		
From left to centroid	z (left)	75.0000 mm
From centroid to right	z (right)	75.0000 mm
Area of shape	A	45,000.0000 mm ²
Moment of Inertia		
	Iy	84.3750E+06 mm ⁴
Section Modulus	Sy	1.1250E+06 mm ³
Section Modulus (left)	S (left)	1.1250E+06 mm ³
Section Modulus (right)	S (right)	1.1250E+06 mm ³
Radius of Gyration	ry	43.3013 mm
Plastic Modulus		
	Zy	1.6875E+06 mm ³
Shape Factor		1.5000
From left to plastic n.a.	zp (left)	75.0000 mm
From plastic n.a. to right	zp (right)	75.0000 mm
Polar Moment of Inertia		
	J	421.8750E+06 mm ⁴
Product of Inertia	Iyz	0.0000 mm ⁴
Maximum Moment of Inertia	Imax	337.5000E+06 mm ⁴
Minimum Moment of Inertia	Imin	84.3750E+06 mm ⁴
Angle from y axis to Imax axis	θ	90.0000 degrees

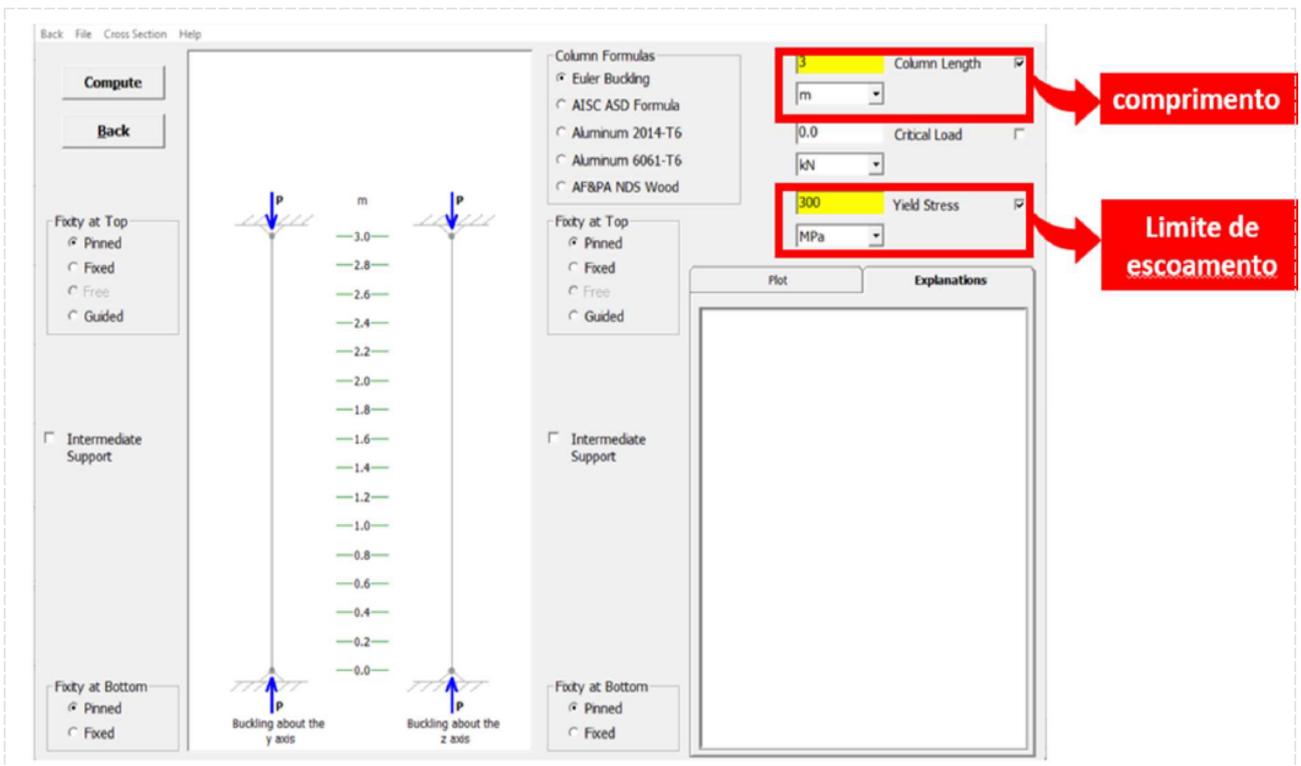
Red boxes highlight the 'Z Axis Properties' and 'Y Axis Properties' sections, and red arrows point to them from the text boxes 'Propriedades geométricas em torno do eixo z' and 'Propriedades geométricas em torno do eixo y'.

Elaborado pelo autor (2023)

e) Retornar a tela principal, clicando em "back" no canto superior esquerdo

Passo 1.5: Definir o comprimento da coluna (column length) $L=3[m]$ e o limite de escoamento do material (yield stress) $sE=300 [MPa]$ conforme Figura.

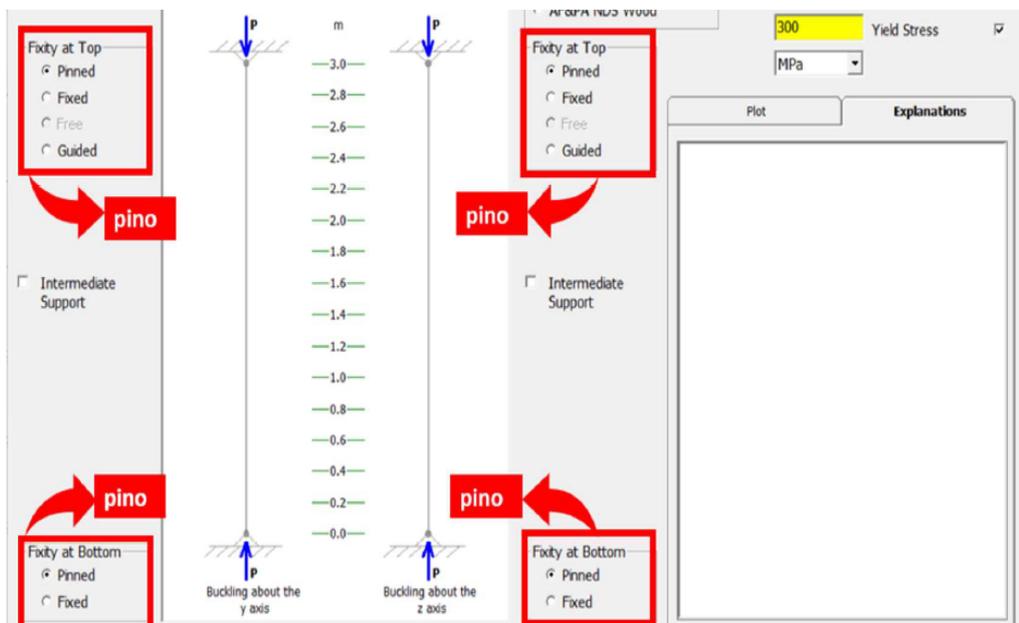
Figura – Descrição passo 1.5



Elaborado pelo autor (2023)

Passo 1.6: Definir os apoios de fixação em torno do eixo y e eixo z, sendo todos pinos, conforme Figura.

Figura – Descrição passo 1.6



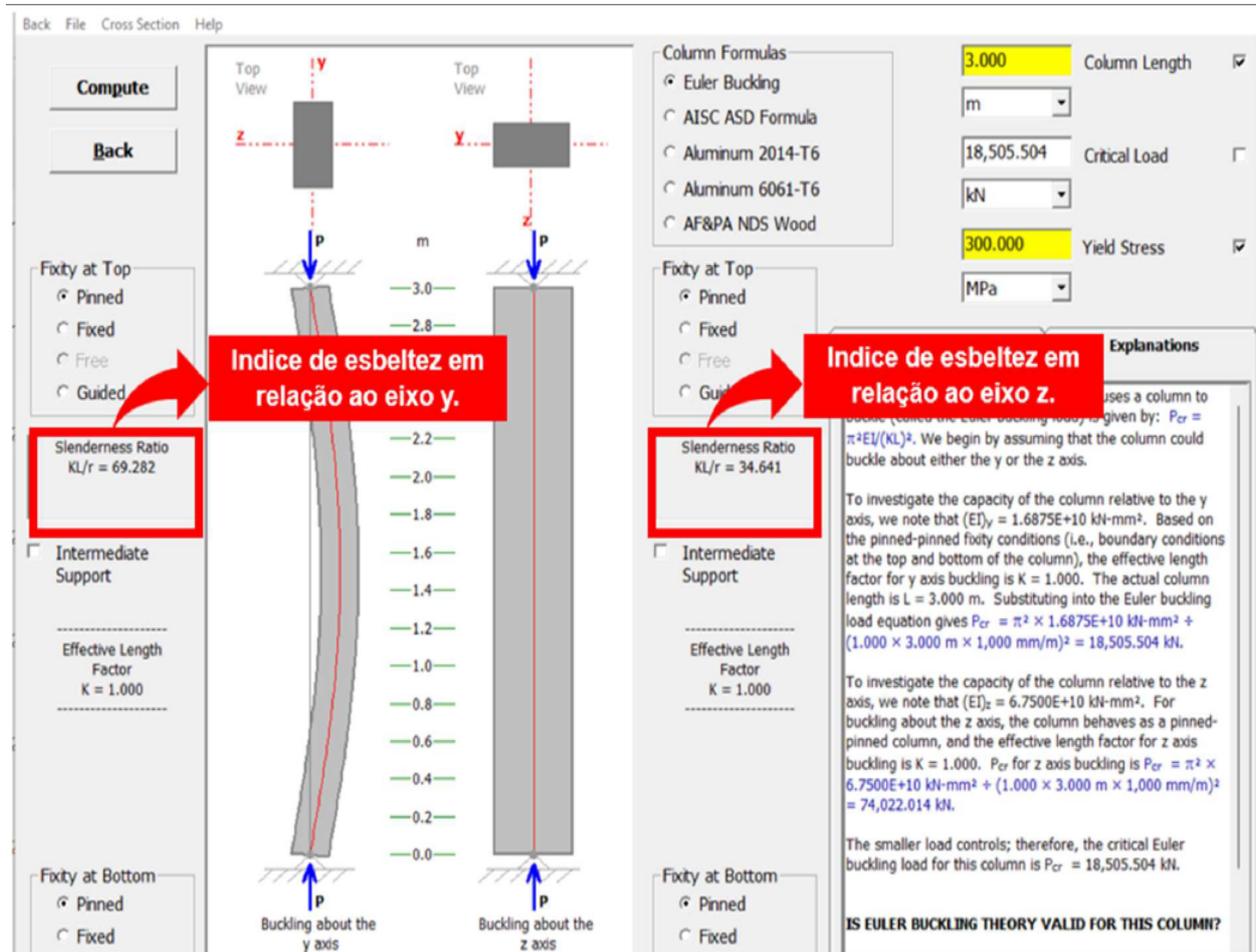
Elaborado pelo autor (2023)

Passo 1.7: Clicar em Calcular (Compute);

Passo 1.8: Tela de resultados,:

- Observar Eixo preferencial de flambagem indicado na figura principal;
- Índice de esbeltez em relação aos eixos y e z, conforme Figura

Figura – Descrição passo 1.8b



Elaborado pelo autor (2023)

- Observar o Comprimento efetivo de flambagem em relação aos eixos y e z, fator que depende do tipo de fixação das extremidades, descrito na caixa de resultados "Effective Length Factor"
- Observar a Carga crítica de flambagem (critical load);
- Gráfico da crítica de flambagem (critical load) em função do índice de esbeltez (slenderness ratio), clicando na aba "Plot"

Checklist:

- Verificar se as unidades estão no Sistema Internacional;

- Verificar se a formulação de Euler (Euler Buckling) está selecionada;
 - Definir as dimensões da seção transversal retangular com 300 [mm] x 150 [mm];
 - Calcular as propriedades geométricas da seção transversal em torno dos eixos y e z;
 - Definir o comprimento da coluna (column length) $L=3[m]$;
 - Definir o limite de escoamento do material (yield stress) $sE=300 [MPa]$;
 - Escolher os apoios de fixação em torno do eixo y e eixo z;
 - Determinar o eixo preferencial de flambagem;
 - Verificar os índices de esbeltez em relação aos eixos y e z;
 - Verificar o comprimento efetivo de flambagem em relação aos eixos y e z;
 - Verificar a carga crítica de flambagem (critical load);
 - Analisar o gráfico da crítica de flambagem (critical load) em função do índice de esbeltez (slenderness ratio);
- ? Verificar se a formulação de Euler é válida ou não para a coluna simulada;

RESULTADOS

Resultados de Aprendizagem:

Ao final, deverá ser elaborado, fora do laboratório, um relatório contendo introdução, métodos, resultados e conclusão sobre os dois experimentos realizados nessa aula.

Unidade: 4

Seção: 2

Roteiro Aula Prática



RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS AVANÇADO

ROTEIRO DE AULA PRÁTICA

NOME DA DISCIPLINA: RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS AVANÇADO

Unidade: CRITÉRIOS DE RESISTÊNCIA E TEOREMAS ENERGÉTICOS

Seção: Critérios de resistência para materiais dúcteis

OBJETIVOS

Definição dos objetivos da aula prática:

- Aplicar os conceitos teóricos de cálculo dos critérios de falha utilizando um software de análise estrutural;
- Ter noção de como utilizar software para análise de estrutura;
- Comparar método de resolução manual com computacional.

INFRAESTRUTURA

Instalações – Materiais de consumo – Equipamentos:

LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA

Equipamentos:

- Desktop Engenharia Positivo Master D3400
- ~ 1 un para cada aluno

SOLUÇÃO DIGITAL

- MDSOLIDS (Software)

MDSolids é um software para tópicos ensinados no curso de Mecânica dos Materiais (também comumente chamado de Resistência dos Materiais ou Mecânica dos Sólidos Deformáveis).

EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

Não se aplica

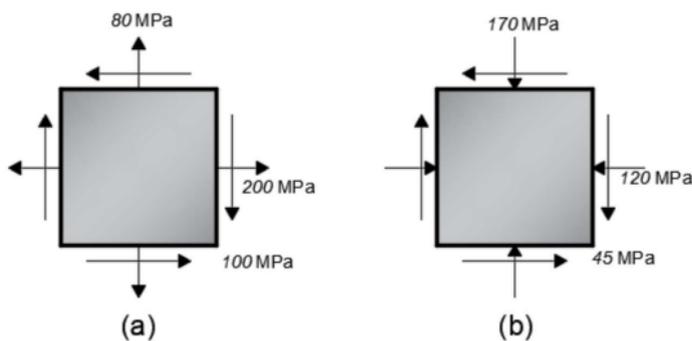
PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

Procedimento/Atividade nº 1 (Físico)

Atividade proposta:

Para os seguintes estados planos de tensões apresentados (a e b), verificar se o material (aço estrutural A-36) sofrerá escoamento pelos critérios de falha da máxima tensão cisalhante e da máxima energia de distorção.

Figura 4.1 – Estados planos de tensão (a) Tipo A (b) Tipo B.



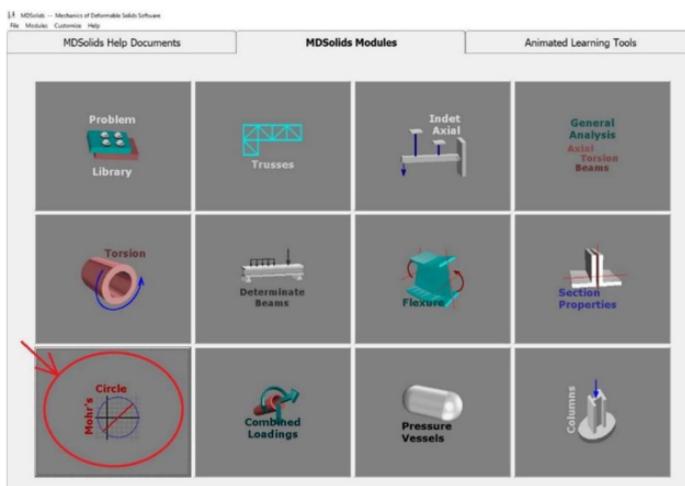
Fonte: Livro texto da disciplina

Procedimentos para a realização da atividade:

Inicialmente, abra o software MDSolids. Em seguida, realize os seguintes passos (a. – h.):

a. Clique na opção Mohr's Circle para acessar o menu do círculo de Mohr.

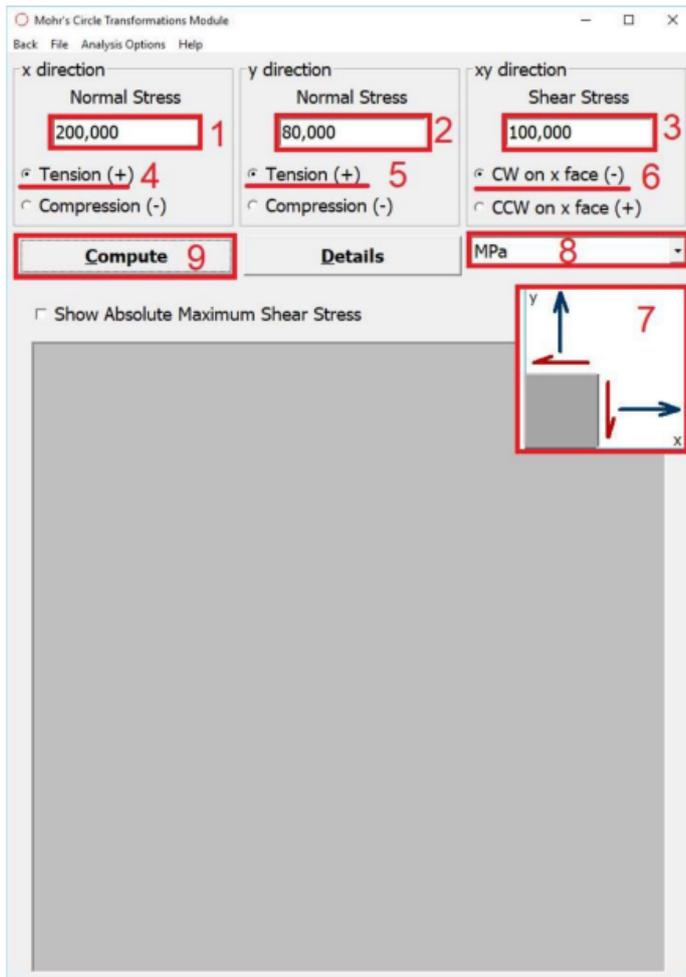
Figura 4.2 – Opção Mohr' Circle



Na janela aberta, insira os valores do enunciado para o caso (a). Em 1, 2 e 3 você deve adicionar a tensão na direção x, y e cisalhamento em xy, respectivamente. O sinal da tensão

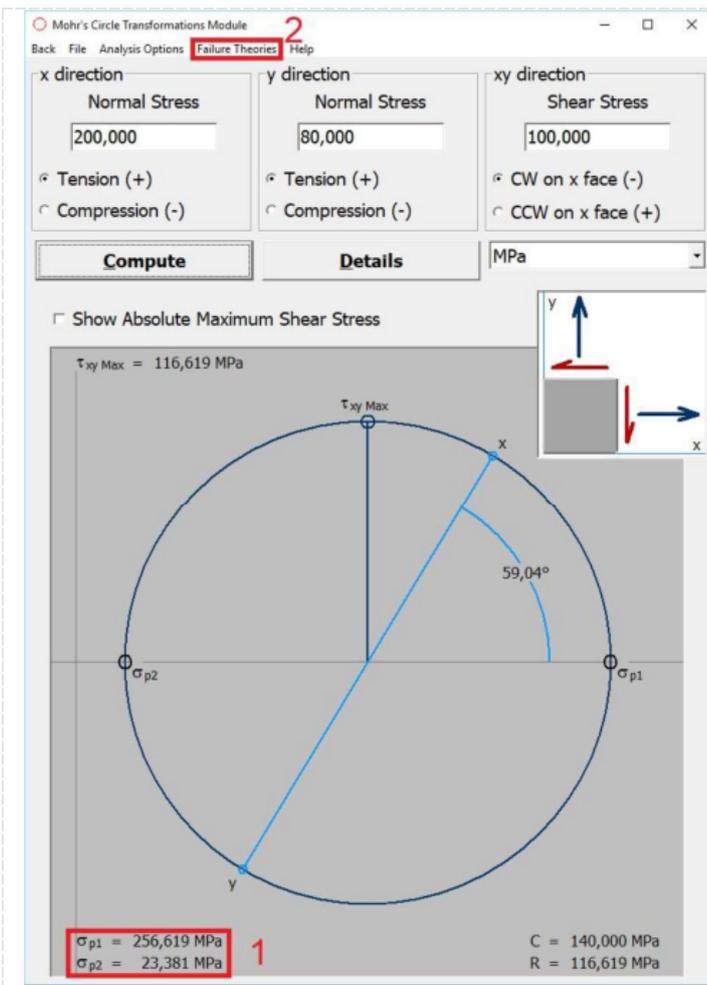
deve ser alterado em 4, 5 e 6, caso necessário. Em 7 é possível ter uma visualização de como as tensões estão orientadas. Compare com a imagem do enunciado. Em 8 você deve definir a unidade das tensões. Por fim, clique em 9 para calcular as tensões principais e o círculo de Mohr.

Figura 4.3 – Parâmetros Mohr' Circle



Agora é exibido o círculo de Mohr para o estado de tensões inserido. Em 1 são destacadas as tensões principais.

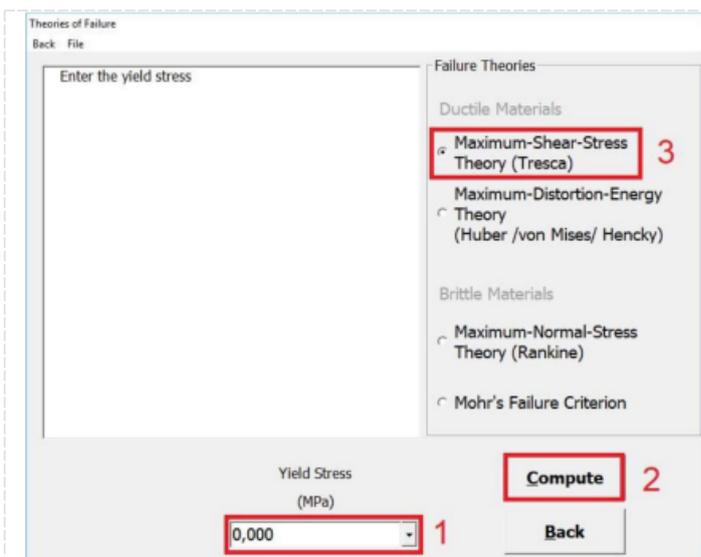
Figura 4.4 – Círculo de Mohr



Clique agora em 2 (Failure Theories), para abrir a janela dos critérios de falha.

d. Antes de verificar a falha, deve-se selecionar a tensão de escoamento do material. Em 1, procure por Steel A-36 Structural. Ao selecionar, o valor da tensão de escoamento será exibido. Clique então em Compute (2), para verificar a falha.

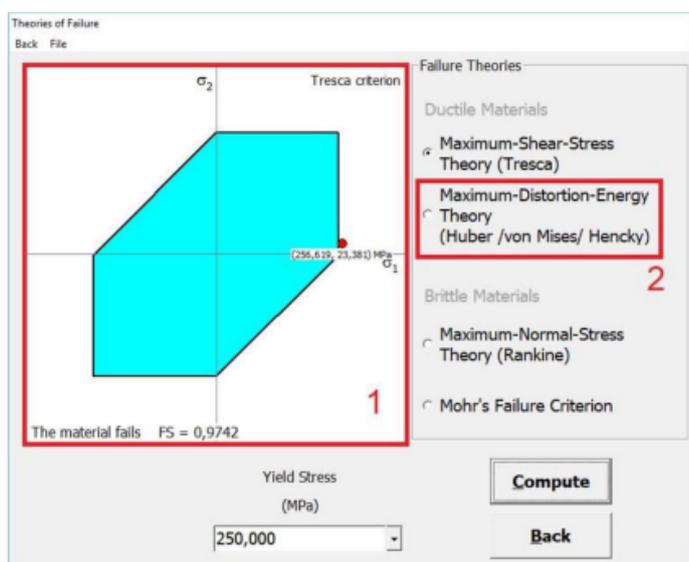
Figura 4.5 – Opção Failure Theories



Note que em 3, a teoria da máxima tensão cisalhante está pré-selecionada.

e. Agora o diagrama de falha é exibido para os dados inseridos. Note que no diagrama (1) é informado que o material falhou, pois, as tensões principais excederam os limites do gráfico.

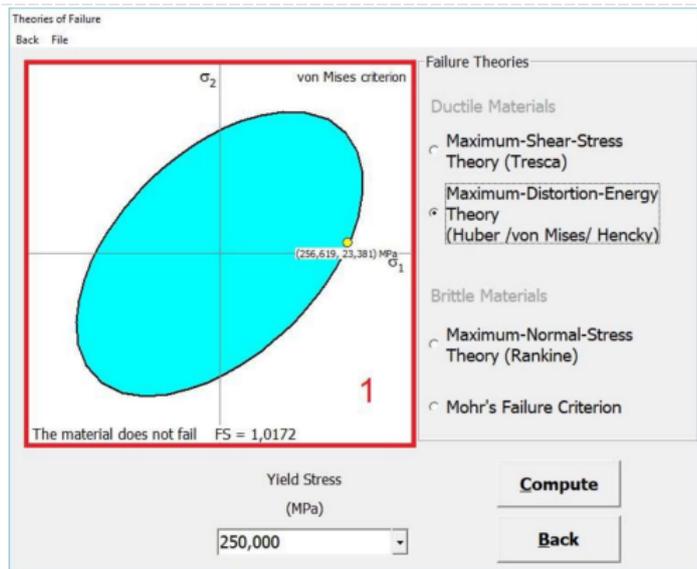
Figura 4.6 –Failure Theories – diagrama 1



Clique agora em 2, para selecionar a teoria da máxima energia de distorção.

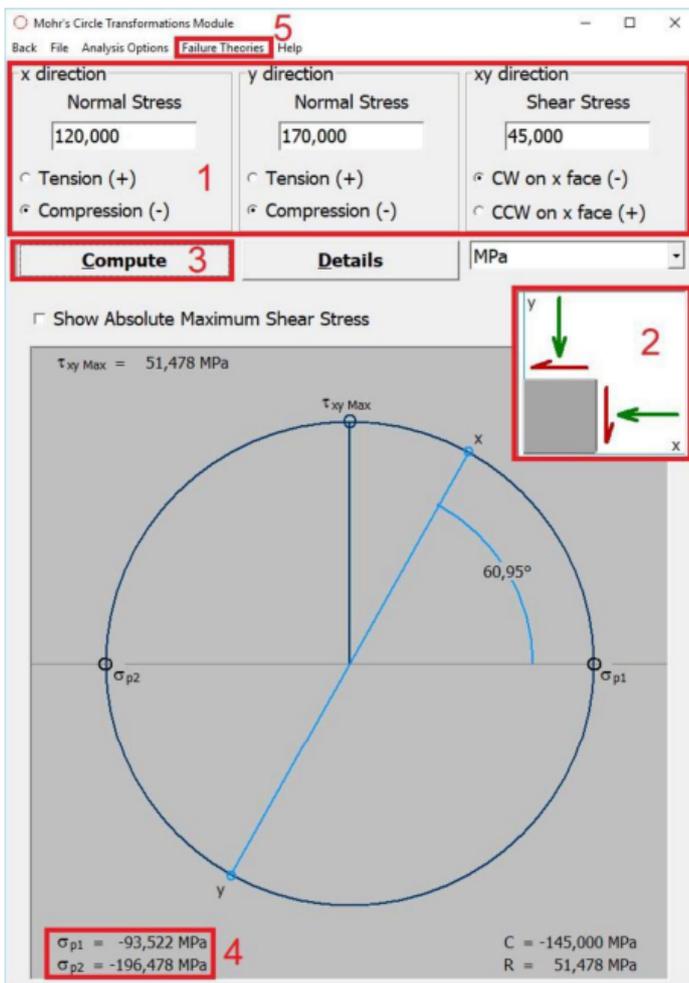
f. Agora o diagrama para a teoria da máxima energia de distorção é exibido em 1. Note que desta vez, o material não falha.

Figura 4.7 –Failure Theories – diagrama 2



Feche a janela e reinsira os dados para o caso (b) em 1. Atenção para a convenção de sinais em 2. Clique em compute (3) para exibir o círculo de Mohr e as tensões principais (4).

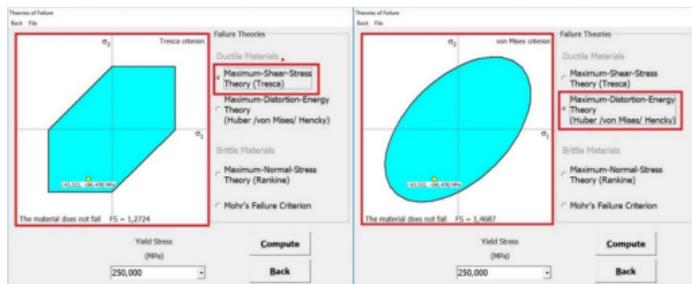
Figura 4.8 – Círculo de Mohr – opção compute



Por fim, clique em Failure Theories (5) para exibir os critérios de falha.

h. Os diagramas de falha serão automaticamente exibidos. Altere o critério de falha para alternar entre ambas as teorias para materiais dúcteis.

Figura 4.9 – Comparação dos diagramas



Note que em ambas as teorias o material não falha.

Checklist (*):

Abra o software MDSolids.

1. Clique na opção Mohr's Circle para acessar o menu do círculo de Mohr.
2. Insira os valores do enunciado para o caso (a).
 - a. Clique em compute.
 - b. Será exibido o círculo de Mohr para o estado de tensões inserido.
 - c. Clique Failure Theories, para abrir a janela dos critérios de falha.
3. Selecione a tensão de escoamento do material: Steel A-36 Structural.
 - a. Clique em Compute para verificar a falha.
4. O diagrama de falha é exibido para o caso (a).
 - a. Verifique se o material falhou.
 - b. Alterne a exibição para a teoria da máxima energia de distorção.
 - c. Verifique se o material falhou.
5. Feche a janela e reinsira os dados para o caso (b)
 - a. Clique em compute.
 - b. Será exibido o círculo de Mohr para o estado de tensões inserido.

c. Clique Failure Theories, para abrir a janela dos critérios de falha.

6. O diagrama de falha é exibido para o caso (b).

a. Verifique se o material falhou.

b. Alterne a exibição para a teoria da máxima energia de distorção.

c. Verifique se o material falhou.

Salve seu trabalho clicando em File >> Save as.

Checklist:

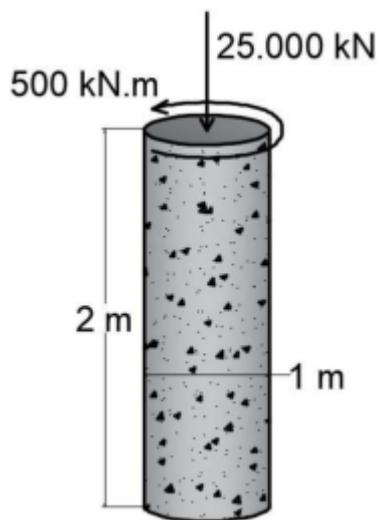
Apresentado ao final dos Procedimentos para a Realização da Atividade (*)

Procedimento/Atividade nº 2 (Físico)

Atividade proposta:

Para uma coluna de concreto exibida na figura abaixo, verifique pelo critério de Mohr se haverá ruptura do material. Considere um concreto com resistência a compressão de 40 MPa e resistência a tração de 4 MPa.

Figura 4.10 – Coluna de concreto

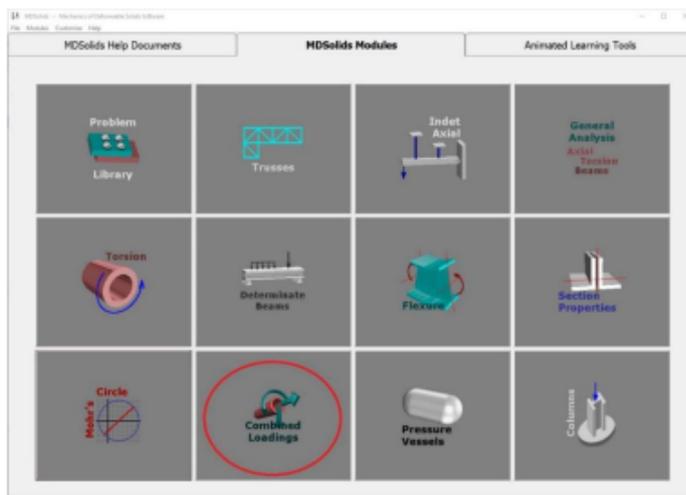


Fonte: livro texto da disciplina

Procedimentos para a realização da atividade:

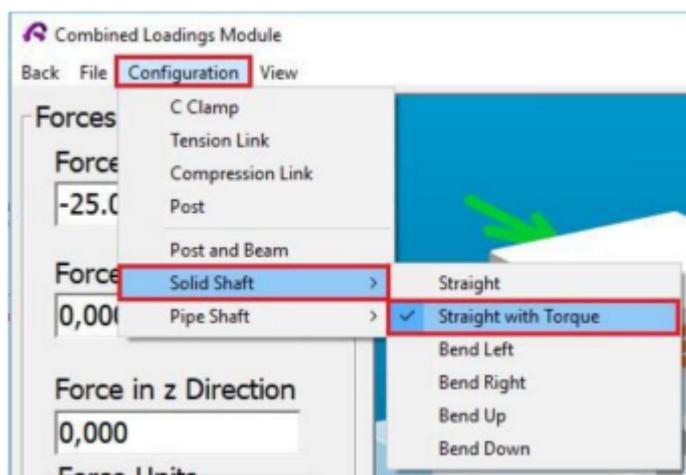
a. Inicialmente, temos que calcular quais as tensões principais atuantes na coluna devido a esse carregamento combinado. Para isso, utilizamos o módulo de Combined Loadings.

Figura 4.11 – Combined Loadings



b. Para o problema indicado, devemos alterar as configurações do programa. Vá até Configuration >> Solid Shaft >> Straight with Torque.

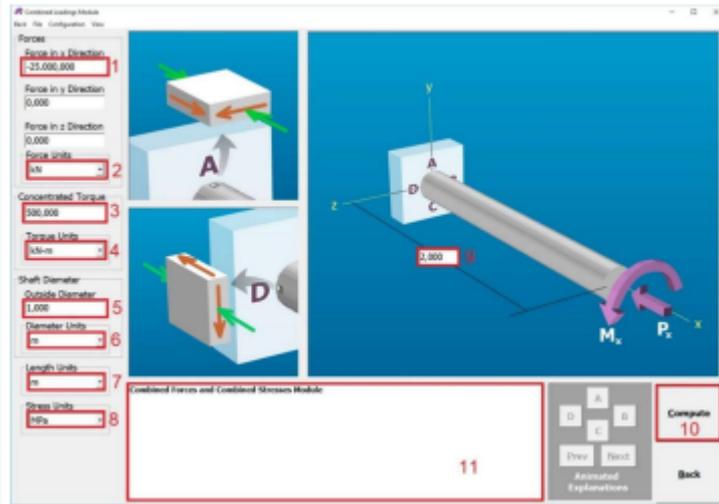
Figura 4.12 – Módulo Combined Loadings



Agora é exibido uma configuração semelhante a do problema. Note que a “coluna” está na horizontal, porém isto não impede o uso da ferramenta para o cálculo do problema.

c. Adicione os dados do problema nos locais indicados. Em 1 adicione a força axial com atenção para a direção da força. Como é de compressão, coloque o sinal negativo. Em 2 altere a unidade de força. De forma análoga, em 3 e 4 entre com o torque e a sua unidade. Em 5 e 6 entre com diâmetro da coluna e a sua unidade. Em 7 e 8 entre com as unidades do comprimento da barra e da tensão. Em 9 adicione o comprimento da barra. Por fim, clique em compute (10) para calcular.

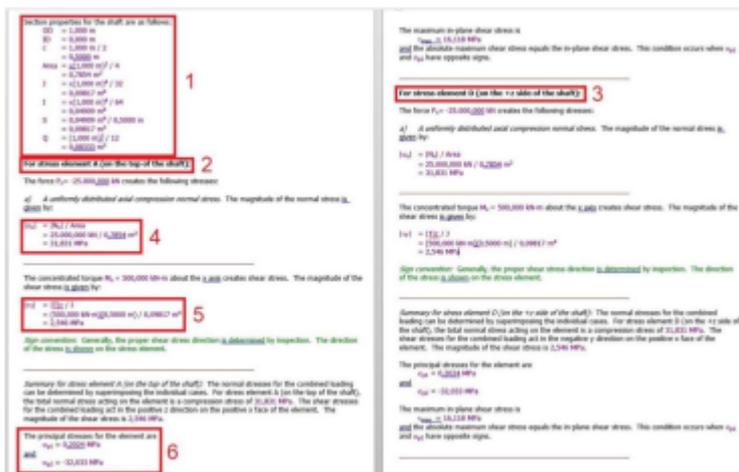
Figura 4.13 – Módulo Combined Loadings – força axial



Um relatório será gerado em 11. Copie seu conteúdo para um editor de texto para facilitar sua visualização.

d. No relatório gerado são exibidas diversas informações referentes a seção. Em 1 são mostradas as propriedades da seção. Em 2 e 3 são exibidas as tensões calculadas para dois elementos da coluna. Como para este caso, as tensões são uniformes em toda a seção, podemos desconsiderar a segunda parte (3). Em 4 temos a tensão de compressão devido ao carregamento axial. Em 5 temos a tensão de cisalhamento devido ao torque. Em 6 temos as tensões principais já calculadas.

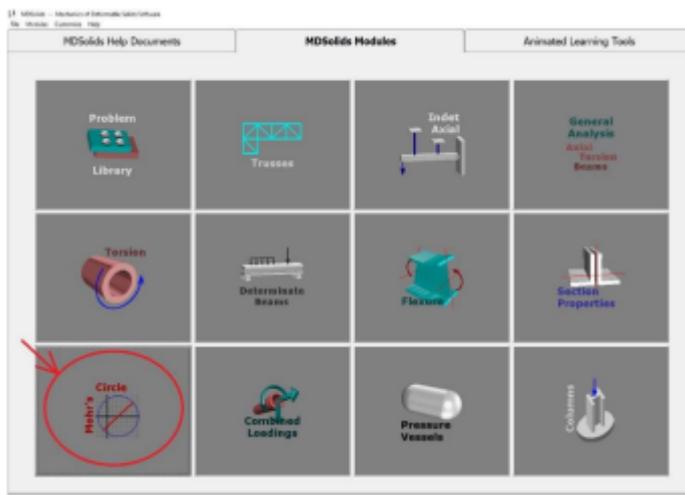
Figura 4.14 – Relatório gerado



Salve este relatório.

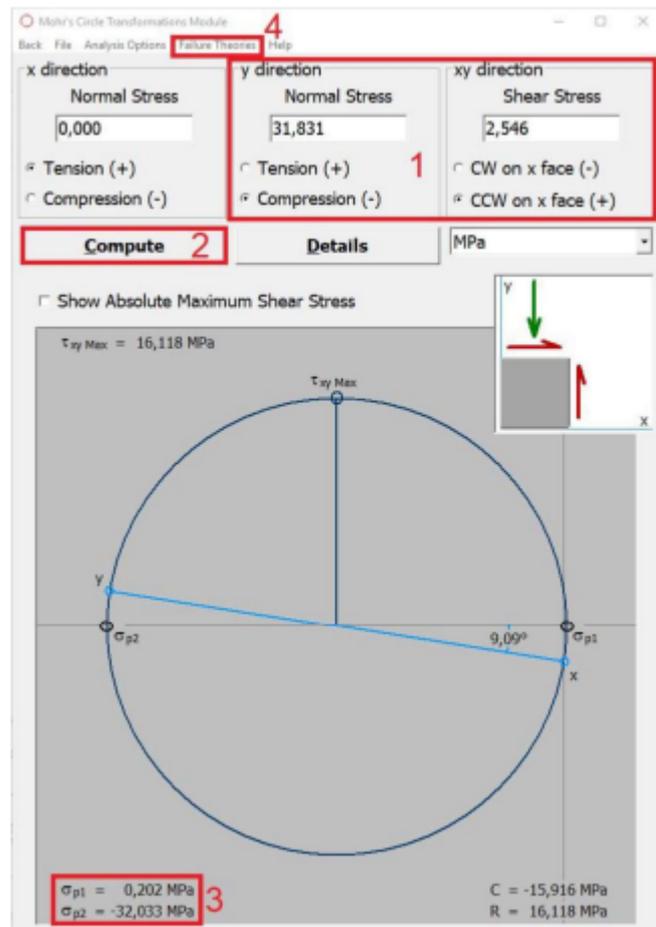
e. Feche o módulo de carregamentos combinados e abra o módulo do Circulo de Mohr.

Figura 4.15 - Opção Círculo de Mohr.



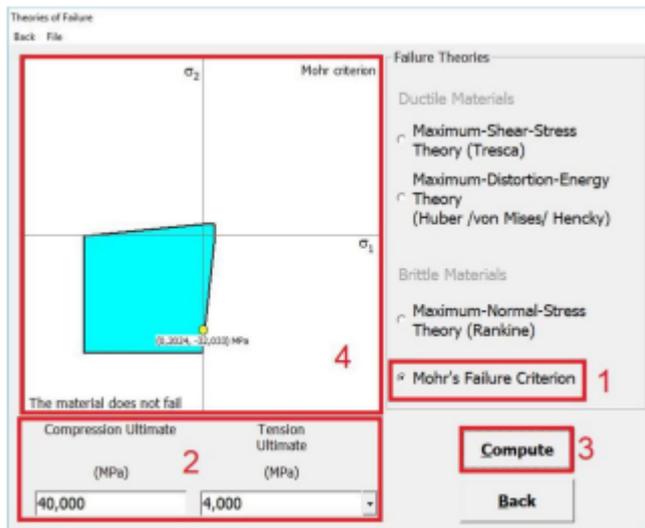
f. Entre em 1 com a tensão normal e tensão de cisalhamento calculadas no tópico c, que estão indicadas no relatório gerado nos campos 4 e 5. Clique em compute (2) para calcular o círculo de Mohr.

Figura 4.16 – Opção compute em Círculo de Mohr



Em 3 são exibidas as tensões principais. Note que elas são idênticas as calculadas em 6 do item c. Por fim, clique em Failure Theories (4), para visualizar os critérios de falha. Na janela aberta dos critérios de falha, altere o critério para a teoria de falha de Mohr em 1. Note que em 2, surgiram dois campos para introdução da resistência a compressão e tração. Adicione os valores do enunciado e clique em compute (3).

Figura 4.17 – Opção Failure Theories e diagrama



Em 4 é exibido o diagrama da teoria e o ponto onde o caso de carregamento se localiza. Portanto, pelo critério de Mohr a coluna de concreto não irá falhar.

Checklist (*):

Abra o software MDSolids.

1. Clique no módulo de Combined Loadings.

- a. Altere as configurações em Configuration >> Solid Shaft >> Straight with Torque.
- b. Adicione os dados do problema nos locais indicados. c. Clique em compute para calcular.

2. Copie o relatório gerado para um editor de texto.

- a. Salve este relatório.

3. Feche o módulo de carregamentos combinados e abra o módulo do Círculo de Mohr. Entre com a tensão normal e tensão de cisalhamento calculadas no relatório.

- a. Clique em compute para calcular o círculo de Mohr.

b. Clique em Failure Theories para visualizar os critérios de falha.

4. Altere o critério para a teoria de falha de Mohr.

a. Introduza a resistência a compressão e tração do enunciado.

b. Clique em compute para verificar a falha.

5. O diagrama de falha é exibido para o problema.

a. Verifique se a coluna falhou.

Salve seu trabalho clicando em File >> Save as.

Checklist:

Apresentado ao final dos Procedimentos para a Realização da Atividade (*)

Procedimento/Atividade nº 1 (Virtual)

Atividade proposta:

Através do software MD Solids, analisar um componente de engenharia, feito de material dúctil, para determinar seu critério de resistência sob carregamento estático utilizando a Teoria da tensão normal máxima.

Procedimentos para a realização da atividade:

Introdução

Materiais dúcteis são caracterizados por sua capacidade de sofrer deformações substanciais antes de fraturar. Quando submetidos a carregamentos estáticos, a determinação do critério de resistência é fundamental para garantir a segurança e funcionalidade de estruturas e componentes. Uma das teorias utilizadas para avaliar a resistência de materiais dúcteis é a Teoria da tensão normal máxima.

A teoria da tensão normal máxima é uma abordagem essencial na análise de materiais estruturais, fornecendo um guia fundamental para entender como esses materiais respondem a diferentes tipos de carregamentos. No cerne dessa teoria está o reconhecimento de que a falha de um material ocorre quando a tensão normal, ou seja, a força aplicada por unidade de área, atinge um valor crítico. Esta teoria é especialmente relevante em situações onde os materiais são submetidos predominantemente a cargas axiais, como em colunas, barras e elementos tracionados.

Ao considerar a tensão normal máxima, avaliamos como as forças externas afetam a integridade do material e, conseqüentemente, determinamos os limites de sua resistência. Em contextos práticos, a aplicação da teoria da tensão normal máxima é crucial no projeto de estruturas, oferecendo uma base sólida para a seleção de materiais e a prevenção de falhas catastróficas.

Ao longo desta exploração, examinaremos os princípios fundamentais da teoria da tensão normal máxima, relacionando-os aos conceitos mais amplos de mecânica dos materiais. A compreensão desses princípios não apenas aprimora a capacidade de projetar estruturas seguras e eficientes, mas também permite uma análise mais aprofundada das limitações e comportamentos dos materiais submetidos a diferentes tipos de carregamentos axiais. Nesta atividade, usaremos o software MD Solids para estudar e aplicar essa teoria.

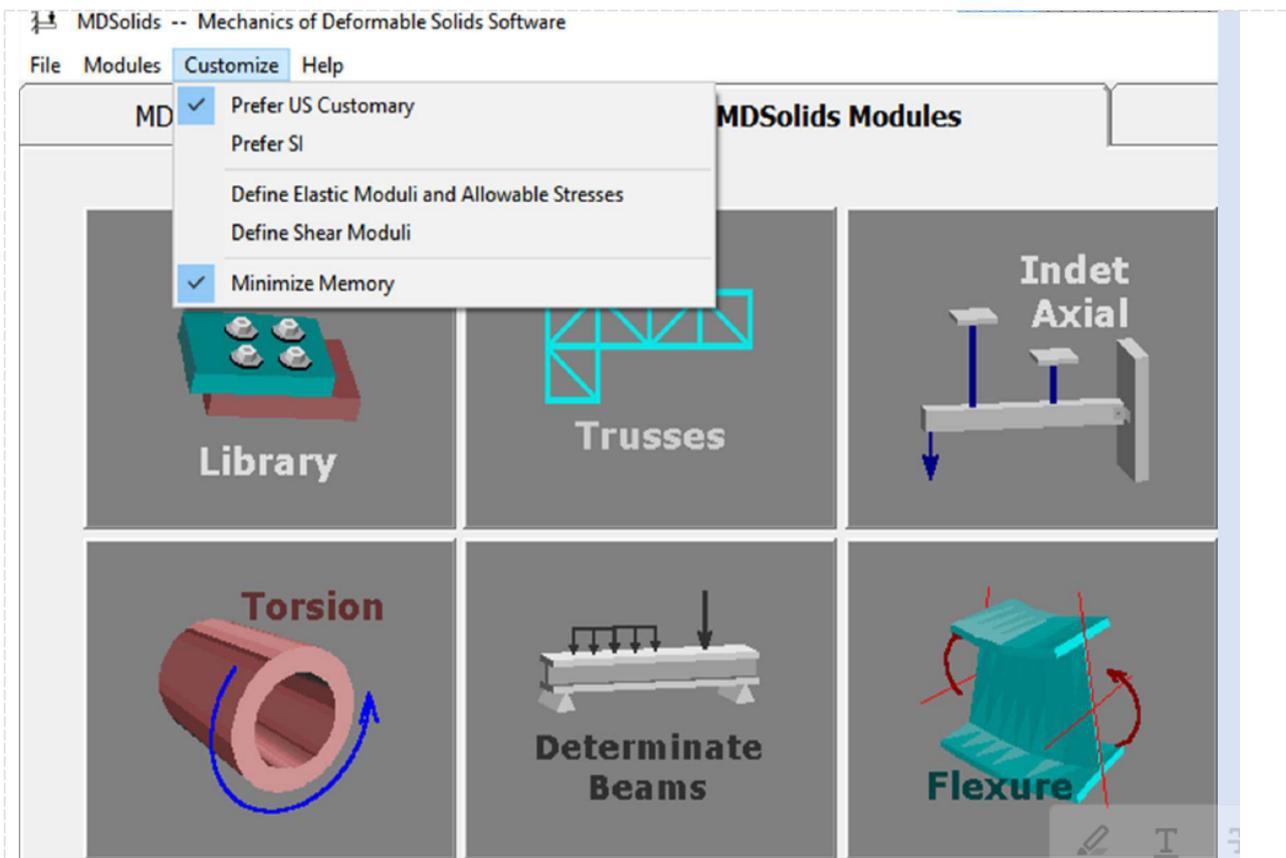
Procedimentos:

-Abrir o MDSolids: Inicie o software MDSolids no seu computador;

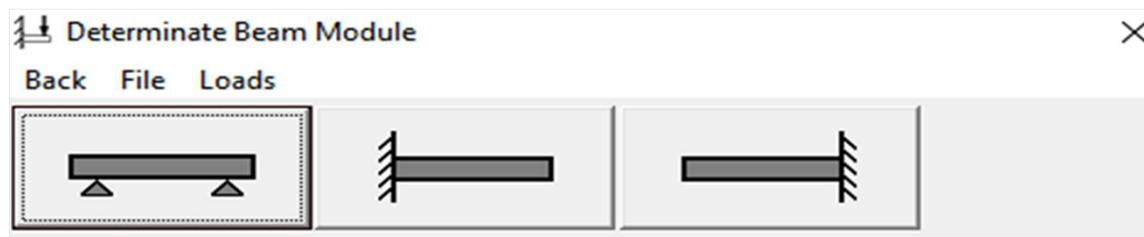
-Criar um Novo Projeto ou Abrir um Existente: Dependendo das opções disponíveis, escolha criar um novo projeto ou abrir um projeto existente



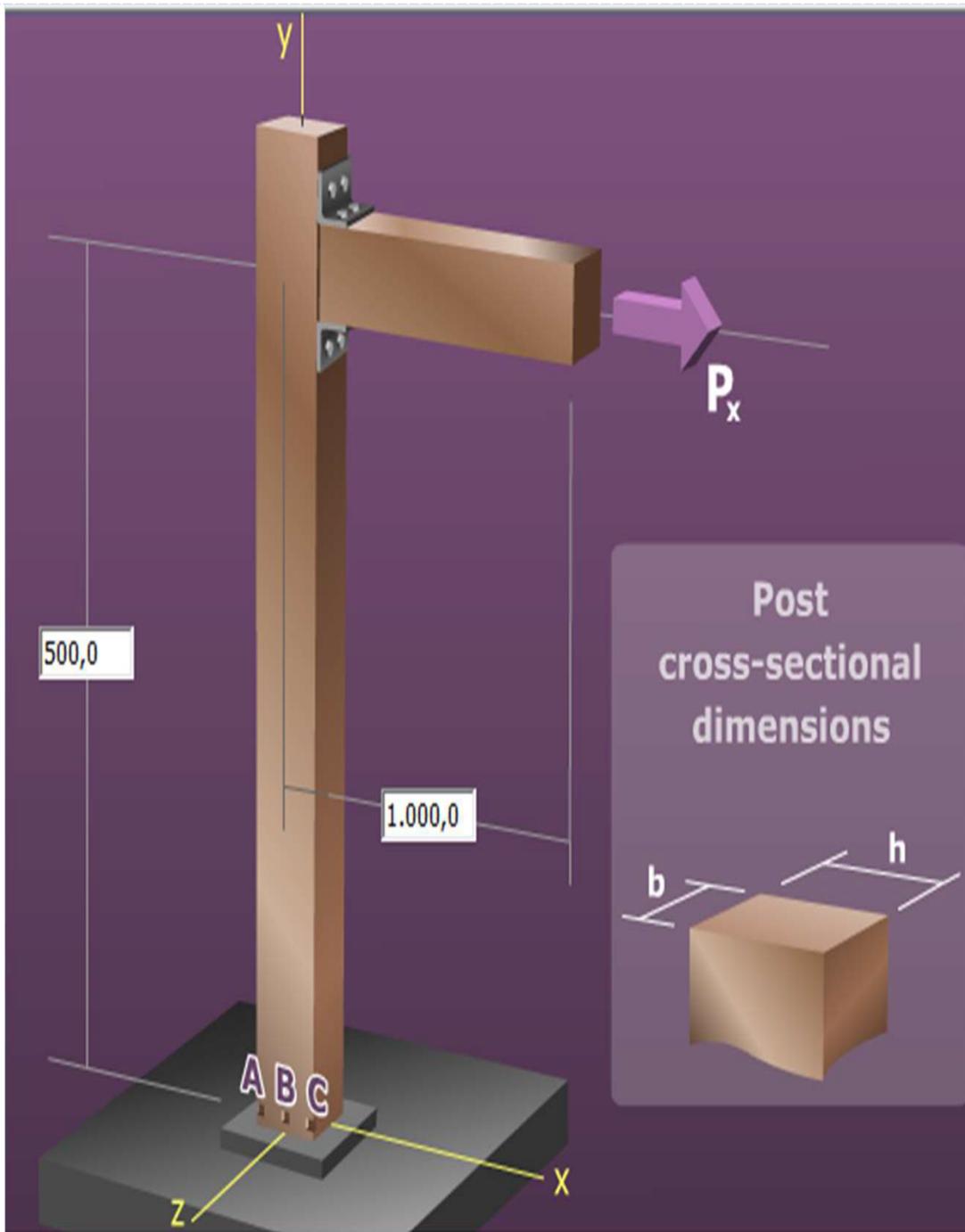
-Definir o Material: Escolha o material que representa a sua estrutura. Informe as propriedades do material, como o módulo de elasticidade e a tensão de ruptura, se necessário.



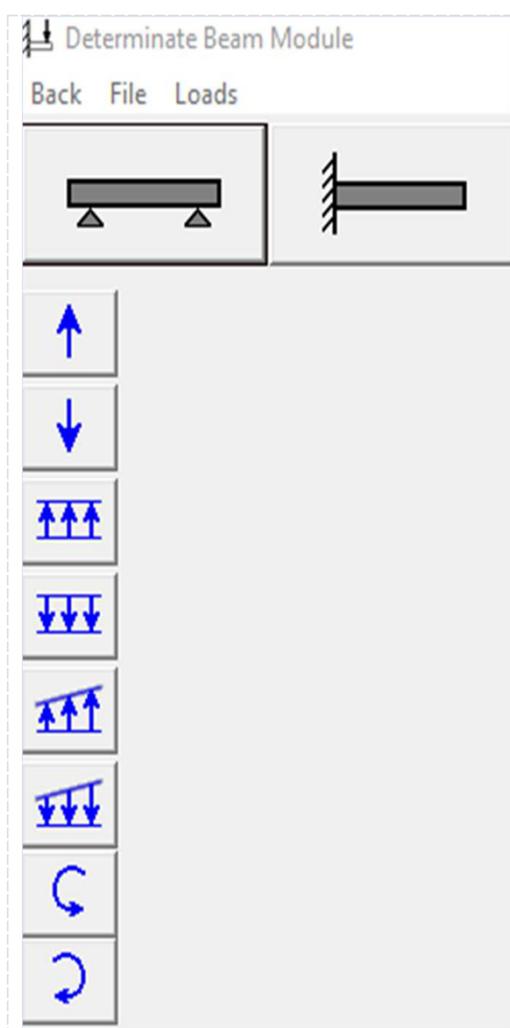
-Modelar a Estrutura: Use as ferramentas de modelagem do MDSolids para criar a geometria da estrutura que você deseja analisar. A seguir, há dois exemplos

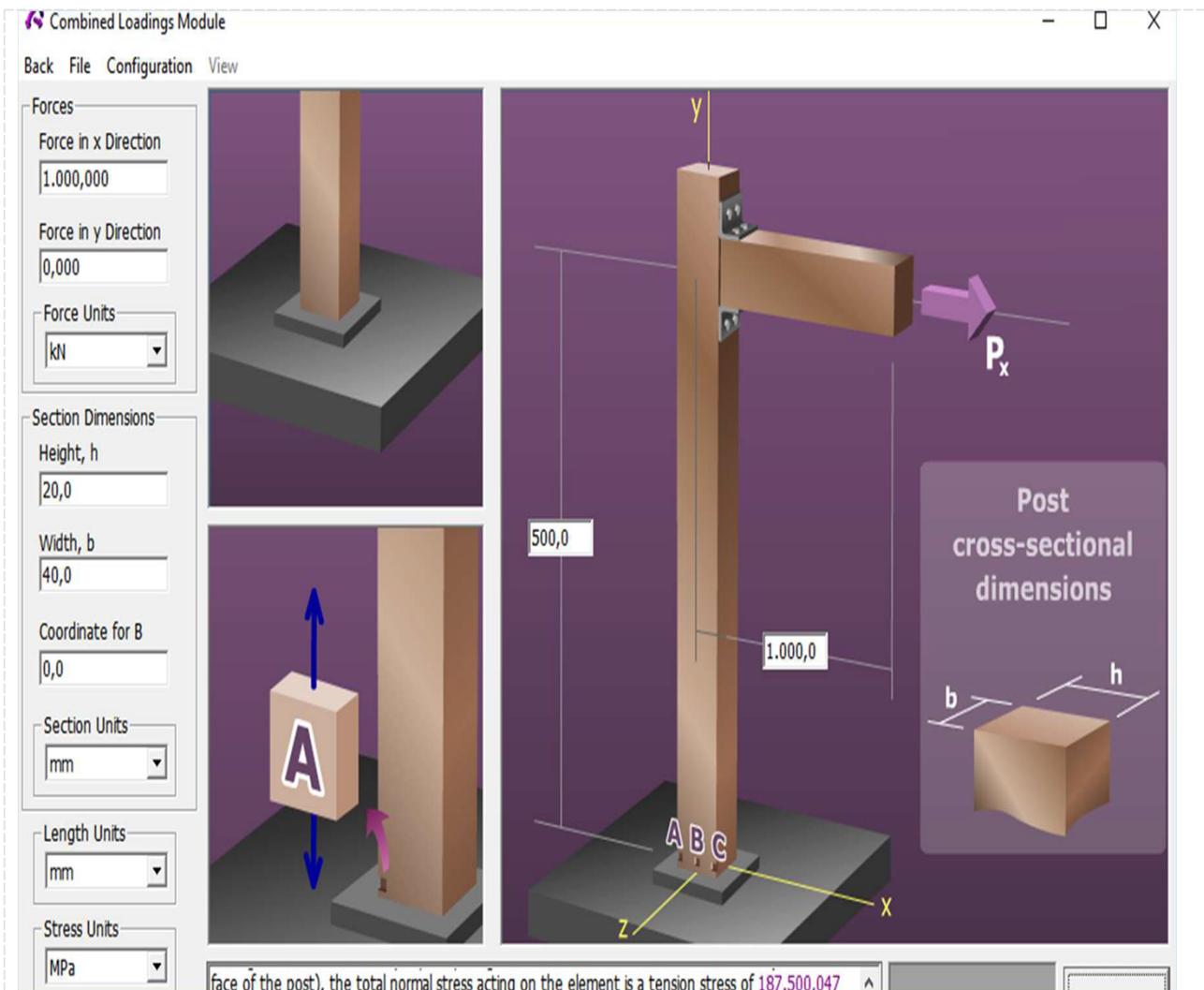


Ou



-Aplicar Carregamentos: Aplique as forças, momentos ou outras condições de carregamento relevantes à sua estrutura. Certifique-se de definir os valores corretamente





Executar a Análise: No MDSolids, geralmente, não há uma opção para escolher explicitamente o critério da tensão normal máxima como em softwares de elementos finitos. No entanto, você pode realizar uma análise de tensão na estrutura e, em seguida, examinar os resultados para identificar as tensões normais máximas. A tecla “compute”, irá realizar os cálculos de tensão desejados.

Checklist:

Software MD Solids foi corretamente configurado e inicializado.

Propriedades do material dúctil foram inseridas corretamente.

Carregamento estático foi configurado adequadamente.

Teoria da tensão normal máxima foi aplicada corretamente.

Resultados foram observados e registrados.

Comparação dos resultados foi realizada com valores teóricos ou conhecidos.

RESULTADOS

Resultados de Aprendizagem:

Ao final, fora do laboratório, deverá ser elaborado um relatório que contendo introdução, métodos, resultados e conclusão sobre os dois experimentos realizados nessa aula.