

# **Estruturas de Aço II**

## **Trabalho 1**

Ricardo Santos de Sousa

Novembro

2022

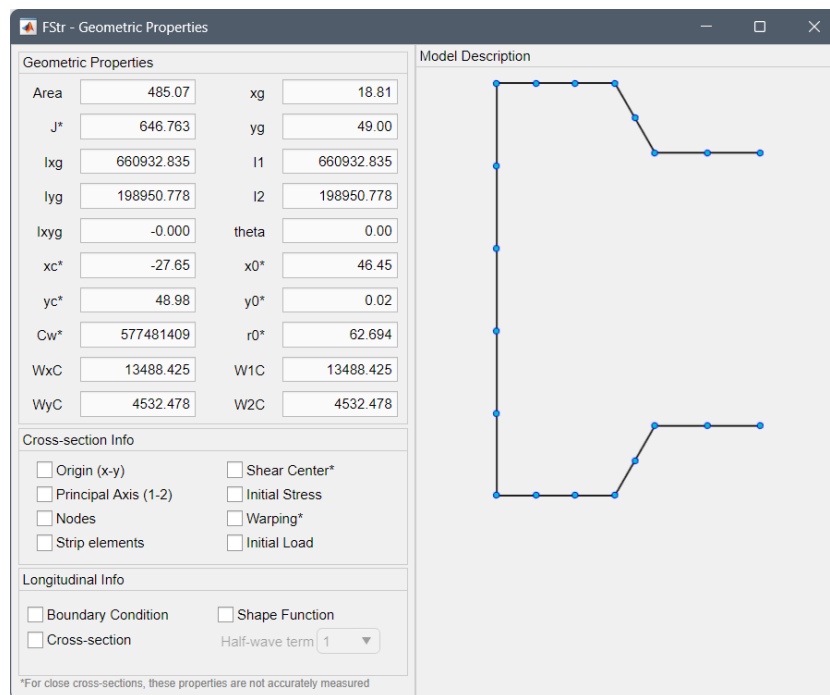
**Questão 1.** Programar o procedimento geral para o cálculo das propriedades geométricas de seções abertas de paredes finas. Pode ser utilizada uma planilha de cálculos, um código de programação ou outro recurso que julgar mais interessante. Verificar o procedimento com resultados do FStr. Para isso, adotar as seguintes seções como exemplos:

- a) Cantoneira de abas desiguais L100x50x2 (mm)
- b) Ue 200x100x20x2
- c) Rack 100x30x20x25x2, ângulo 60°
- d) Seção assimétrica indicada a seguir:  $b_1=30$ ,  $b_2=50$ ,  $b_3=150$ ,  $b_4=30$ ,  $b_5=25$ ,  $t=2$ mm.

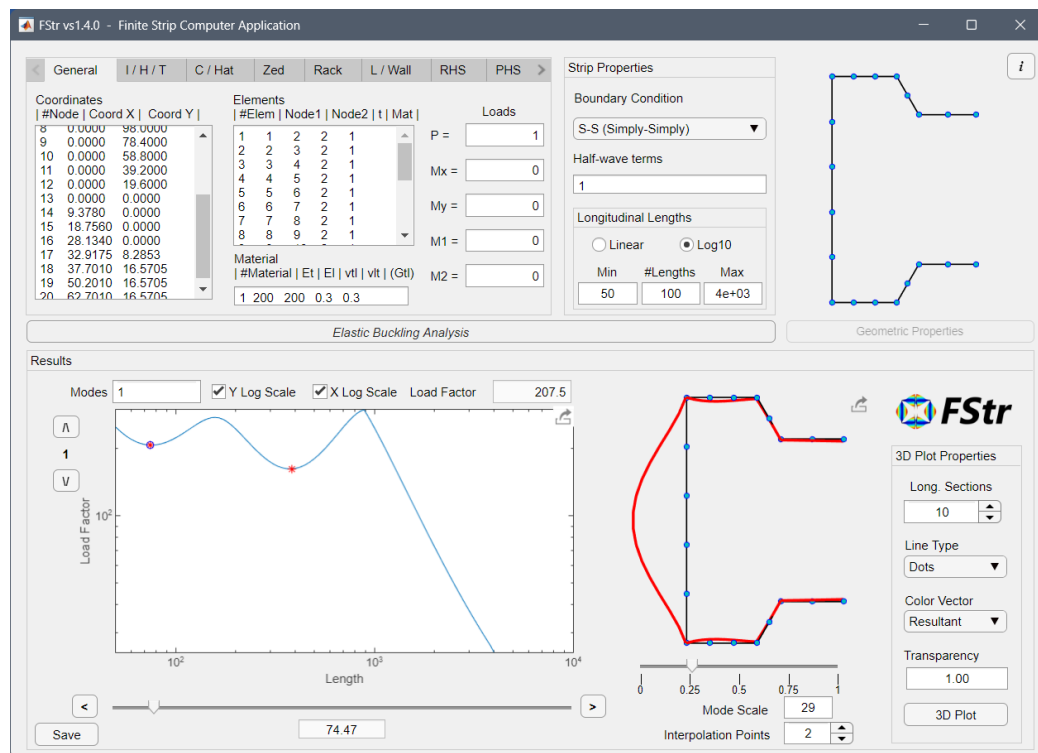
**Resolução no Anexo deste documento.**

**Questão 2.** Analisar a seção Rack no FStr e comentar sobre a curva de assimetria obtida para  $L=50$  a 4000mm:

- a) Na compressão axial, extremidades livres para as rotações (Simply-simply);
  - Propriedades geométricas da seção Rack.



## ➤ Flambagem Local

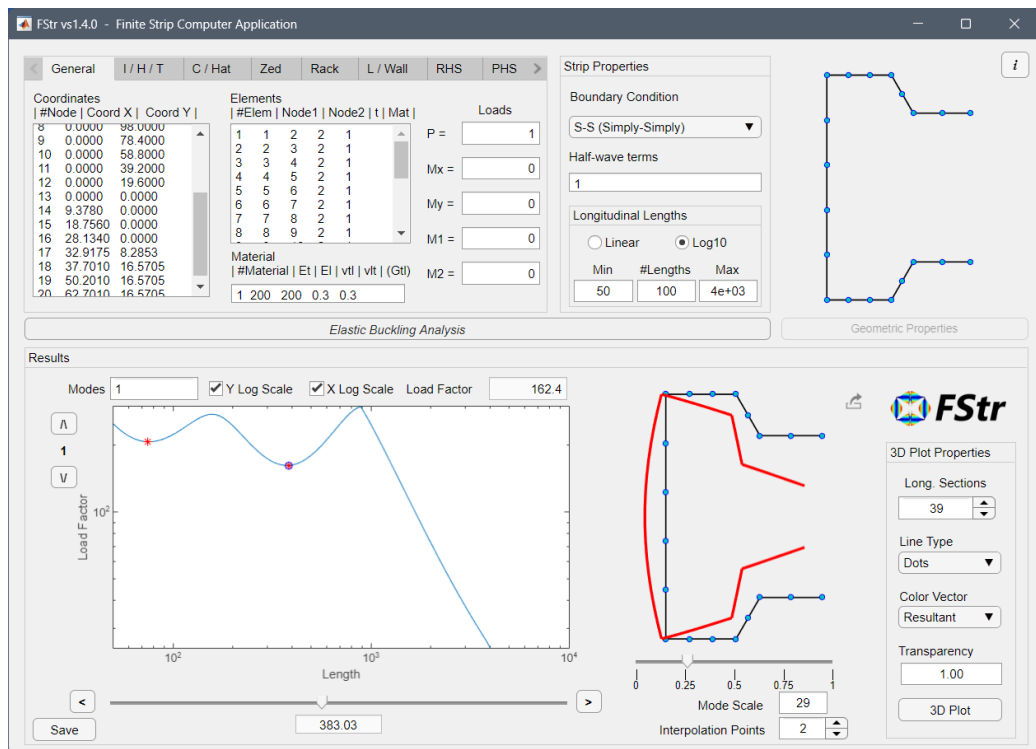


A flambagem local em compressão axial com as extremidades simplesmente apoiadas tem como característica distorções nas paredes da seção sem deslocamentos dos vértices da seção. O valor crítico de flambagem local obtido no FStr foi de 207,5 kN.

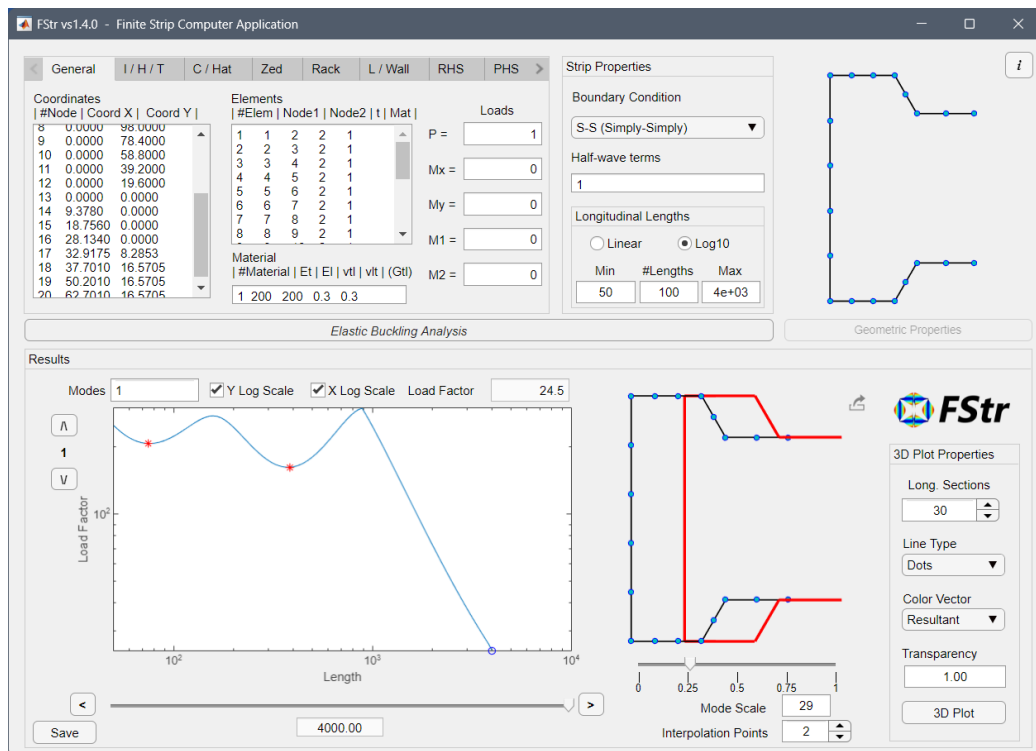
## ➤ Flambagem Distorcional

Na flambagem distorcional, os vértices das extremidades são deslocados e uma pequena deformação na alma ocorre. Isso pode ser visto no gráfico gerado pelo FStr. Geralmente, o valor distorcional é menor que o local e isso aconteceu no caso em tela.

O valor crítico de flambagem distorcional encontrado no FStr foi de 162,4kN.



## ➤ Flambagem Global



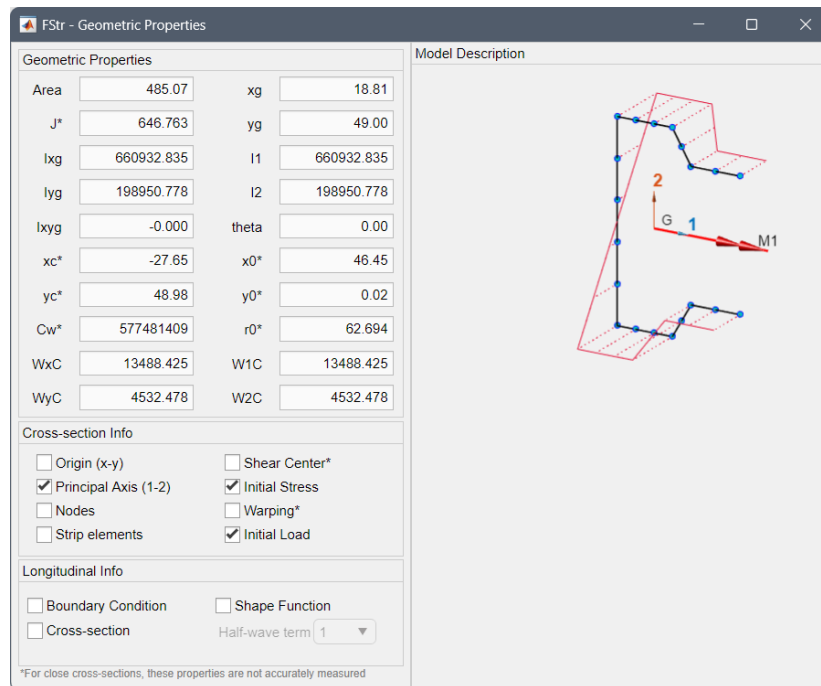
O comportamento da seção na flambagem global é totalmente diferente das anteriores. Neste tipo de flambagem, não há deformações locais e há um deslocamento de toda seção para a direita. O valor crítico da flambagem global no comprimento de 4000mm é de 24,5kN.

A tabela abaixo traz um resumo dos resultados obtidos e o valor da força axial de cálculo. O desenvolvimento do cálculo está no arquivo anexo a este documento.

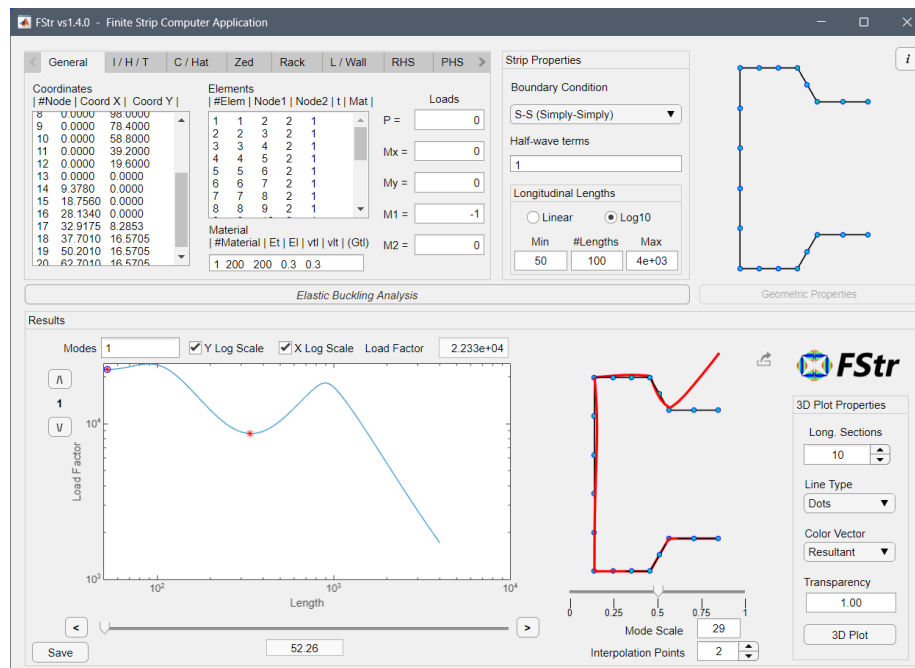
Seção Rack	Área (mm <sup>2</sup> )	N <sub>L</sub> (kN)	N <sub>D</sub> (kN)	N <sub>e</sub> (kN)	N <sub>crd</sub> (kN)
Simply-Simply	485,1	207,3	162,4	24,5	17,9

b) Na flexão no eixo de maior inércia (simply-simply);

➤ Propriedades Geométricas



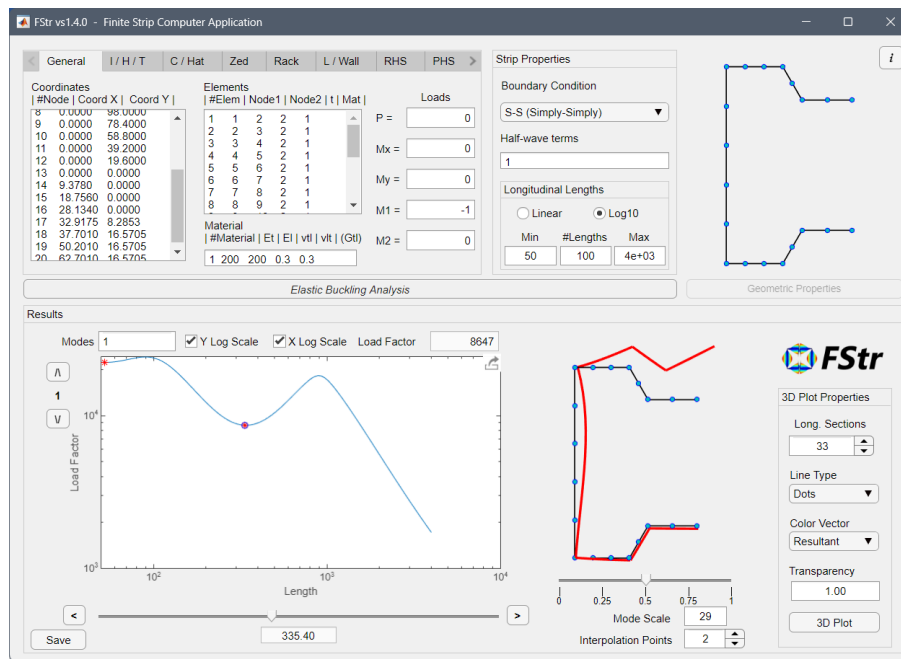
## ➤ Flambagem Local



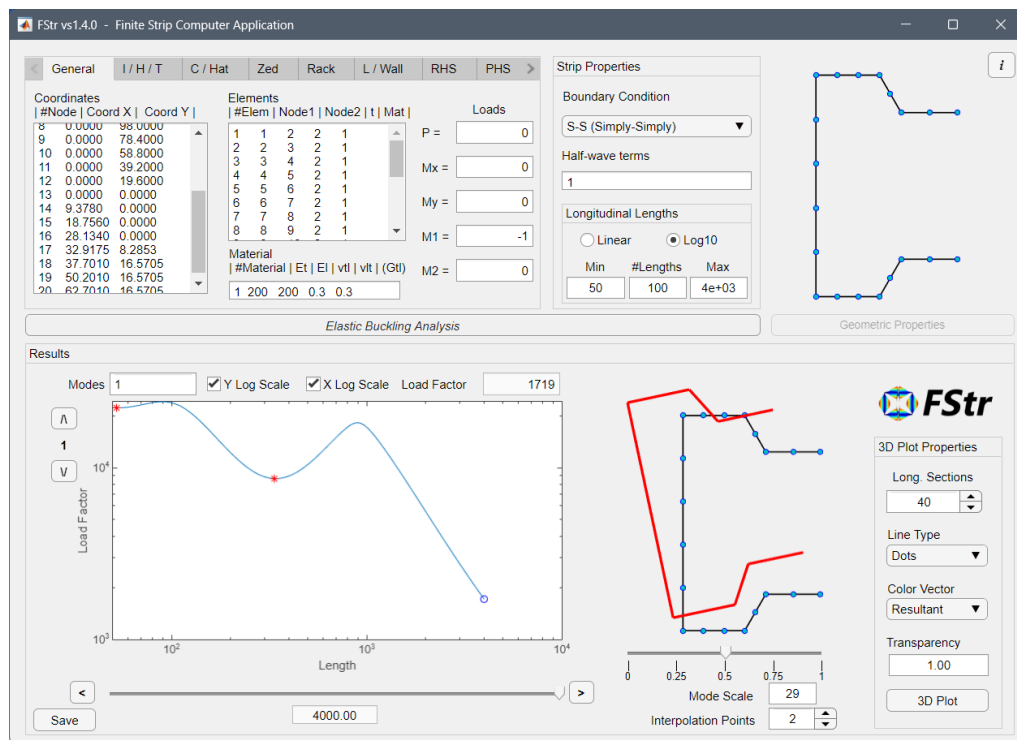
O momento de Flambagem Local obtido tem o valor de  $2,233 \times 10^4 kN * mm$ . A parte superior é a parte comprimida e houve uma leve deformação de flambagem local na alma e deformações maiores na mesa superior. A parte inferior está em tração e não há nenhuma deforma nesta parte.

## ➤ Flambagem Distorcional

Percorrendo um pouco mais o comprimento do perfil, foi possível encontrar o valor crítico do momento de flambagem distorcional com o valor de  $8647 kN * mm$ . Como característica deste tipo de flambagem, houve um deslocamento do vértice da seção que está sendo mais solicitada e uma pequena deformação na alma da seção. Geralmente, o valor do momento de flambagem distorcional é menor que o valor do momento de flambagem local. Isso pode ser notado através da curva gerada pelo FStr. Abaixo segue a tela do programa com os resultados.



## ➤ Flambagem Global



O valor obtido do momento crítico de flambagem global é  $1719 \text{ kN} \cdot \text{mm}$  no comprimento de 4000mm do perfil. Este valor varia de acordo com o comprimento. Neste tipo de flambagem, a seção não sofre nenhuma deformação local e há um deslocamento com flexo torção na seção Rack.

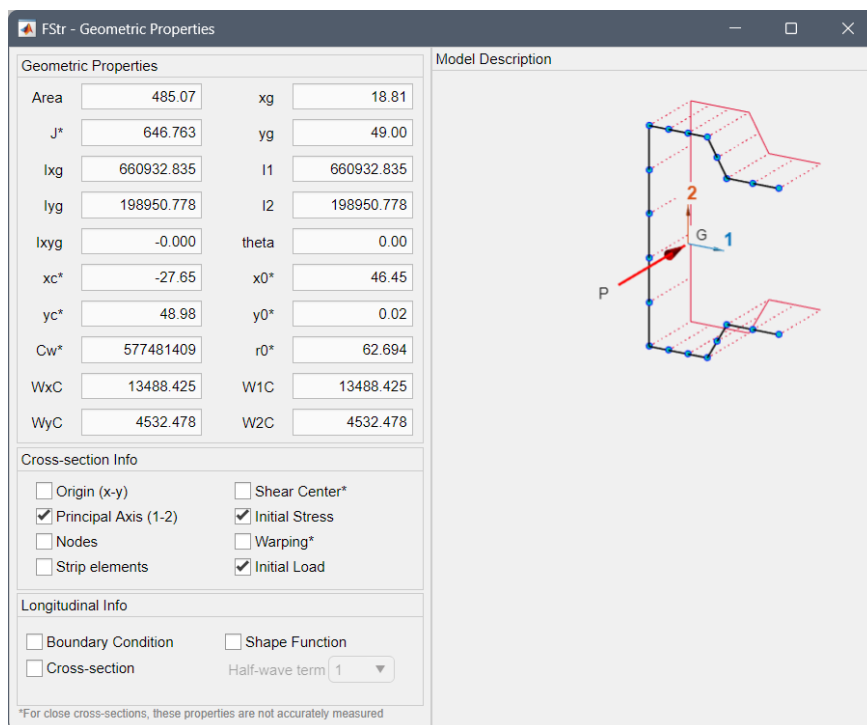
A tabela abaixo traz o resultado do momento crítico de cálculo. O desenvolvimento dos cálculos está no anexo deste trabalho.

Seção Rack	Área (mm <sup>2</sup> )	M <sub>L</sub> (kN*mm)	M <sub>D</sub> (kN*mm)	M <sub>crit</sub> (kN*mm)
Simply-Simply	485,1	22330	8647	1567

- c) Realizar as mesmas análises para a barra com extremidades com todas as rotações restringidas (clamped-clamped). Comentar os resultados e comparar com a curva de assinatura para a condição simplesmente apoiada nas extremidades.

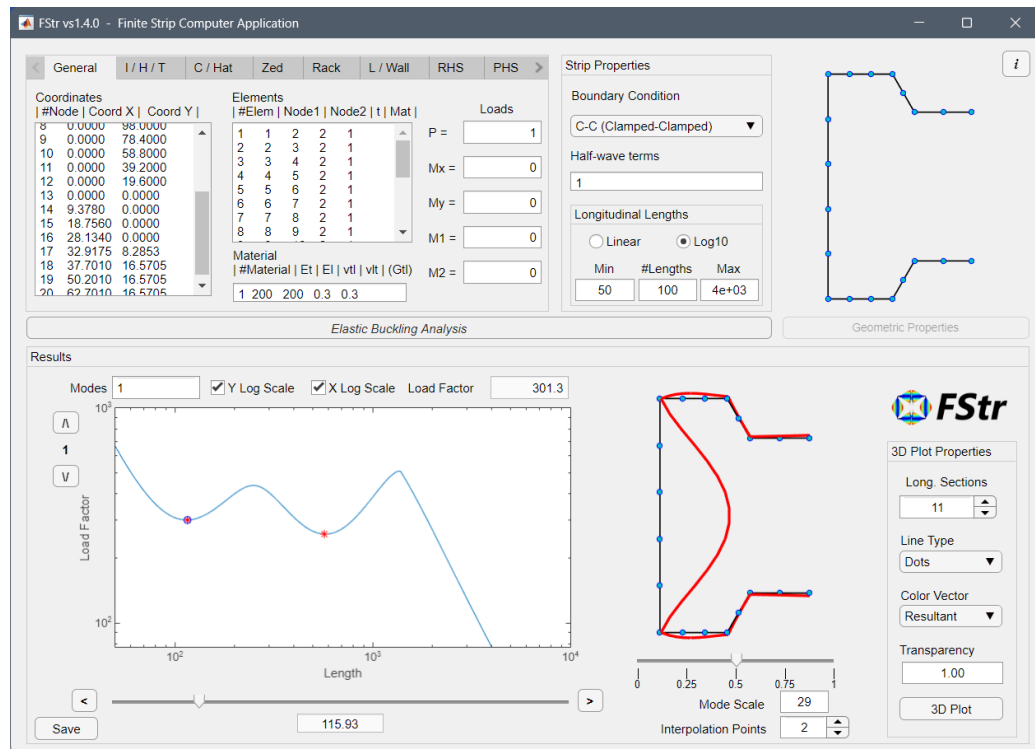
### ✓ COMPRESSÃO AXIAL COM AS ROTAÇÕES RESTRINGIDAS

#### ➤ Propriedades geométricas

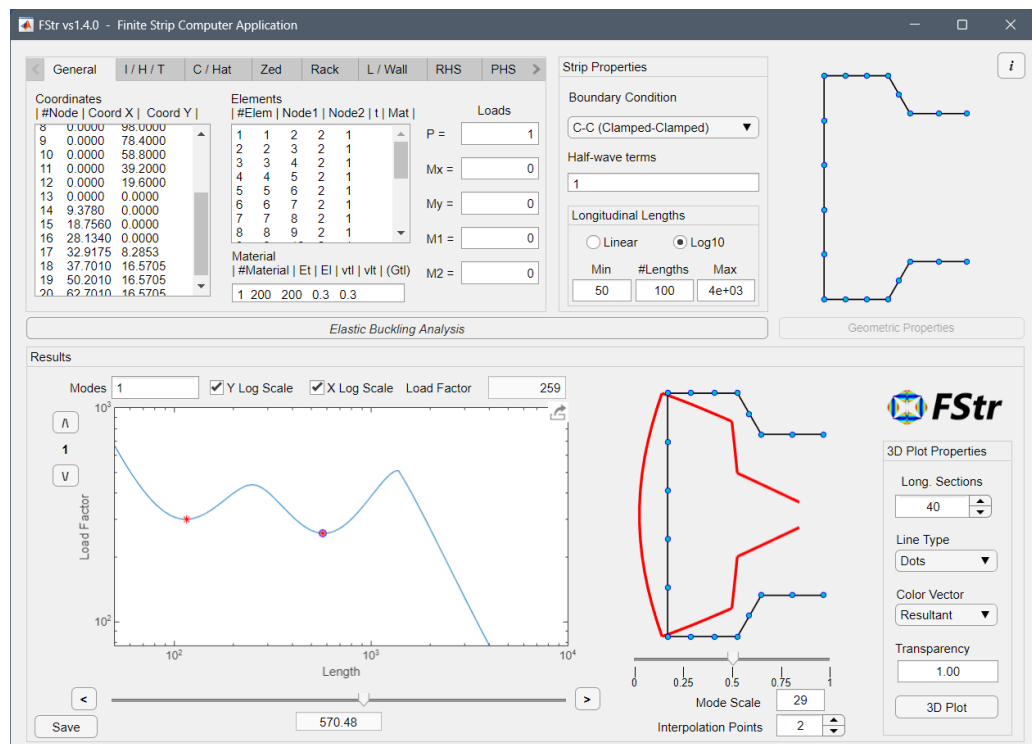




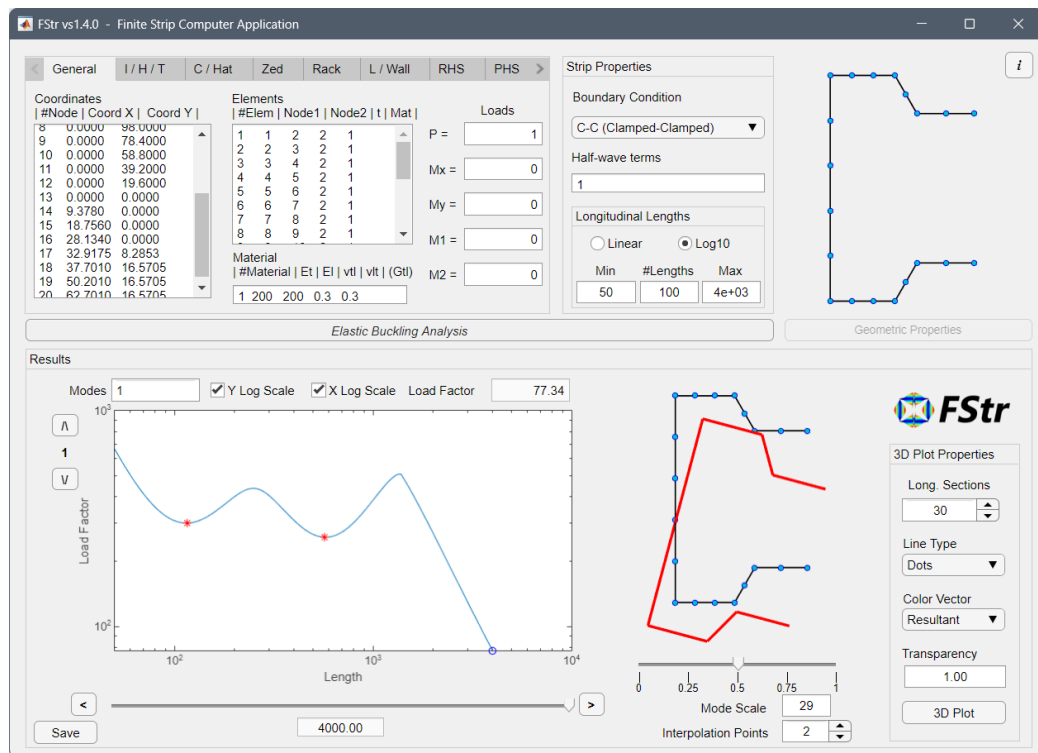
## ➤ Flambagem local



## ➤ Flambagem Distorcional

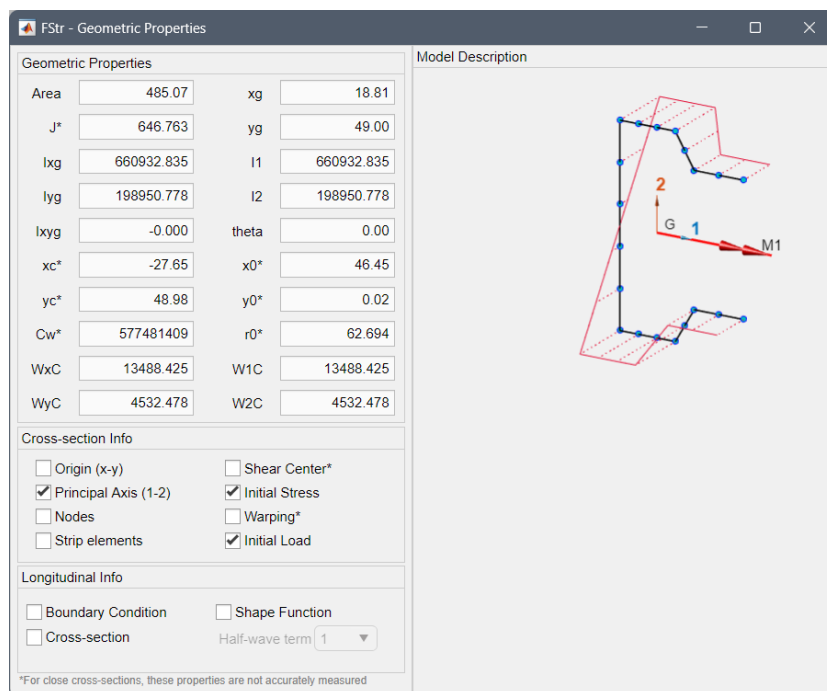


## ➤ Flambagem global

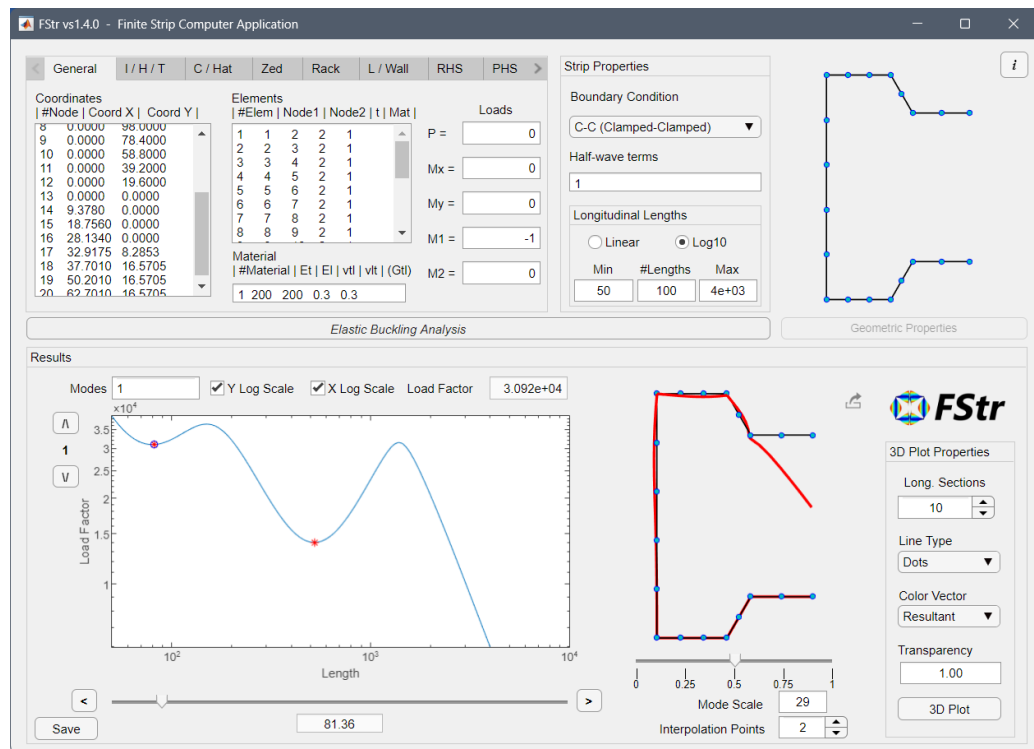


## ✓ FLEXÃO NO EIXO DE MAIOR INÉRCIA COM AS ROTAÇÕES RESTRINGIDAS

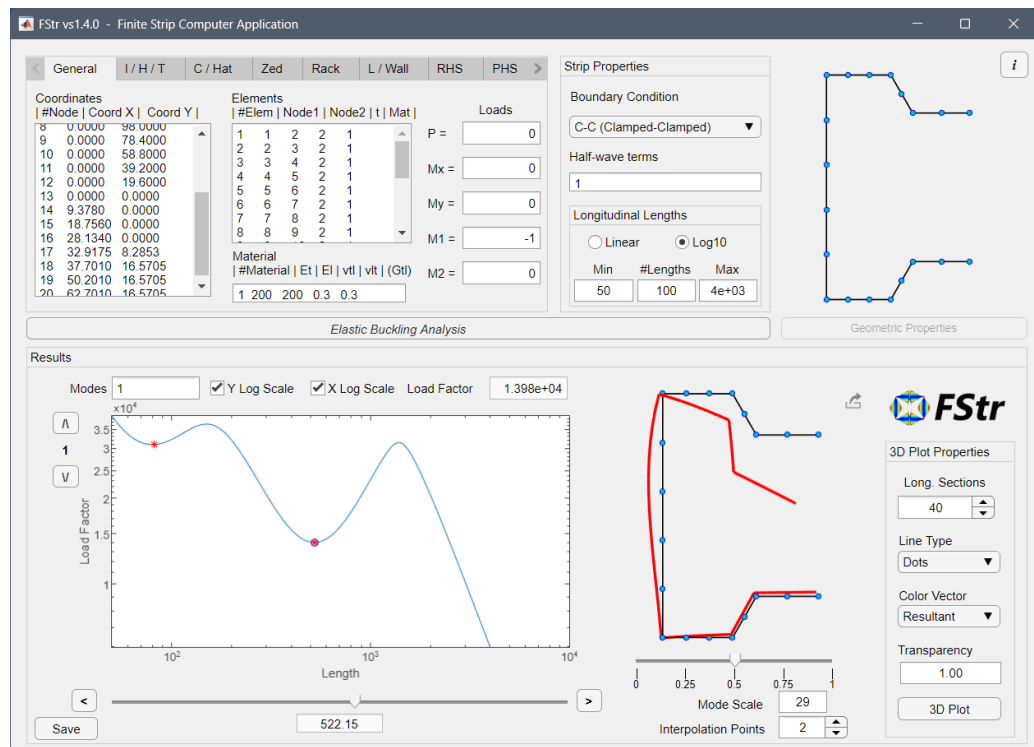
## ➤ Propriedades Geométricas



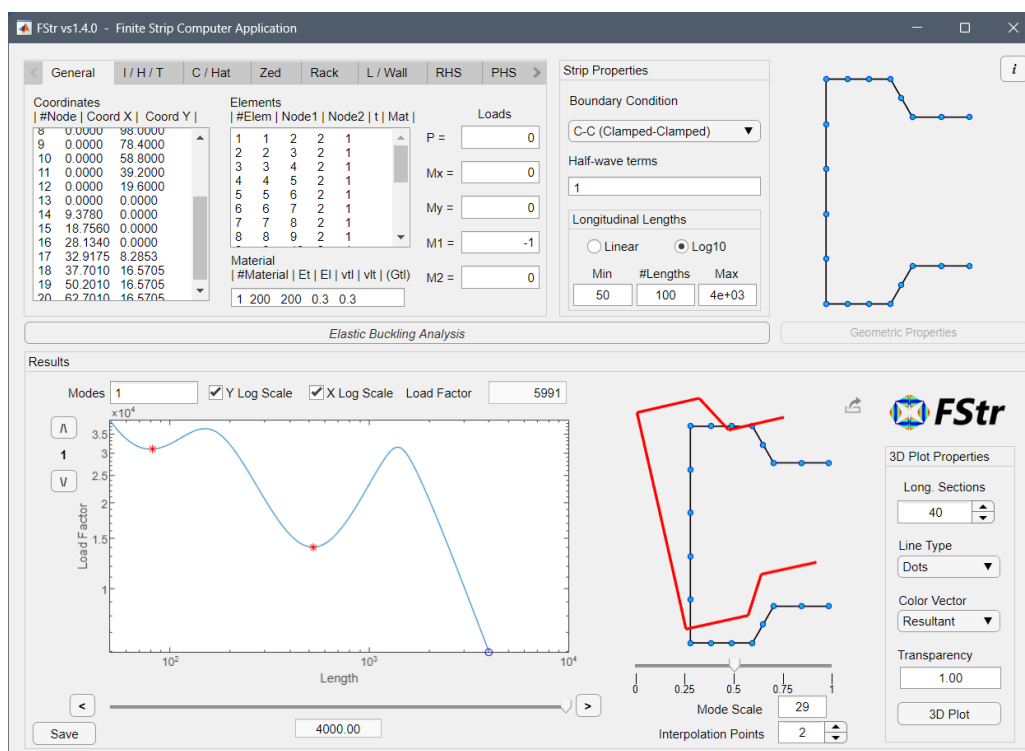
## ➤ Flambagem local



## ➤ Flambagem Distorcional



## ➤ Flambagem Global



### Resultados e Comentários:

Abaixo segue uma tabela com o resumo de todos os resultados obtidos para uma melhor análise dos resultados.

	Compressão Axial (kN)				Flexão na maior Inércia (kN*mm)			
	Local	Distorcional	Global	$N_{crd}$	Local	Distorcional	Global	$M_{crit}$
Simply-Simply	207,5	162,4	24,5	17,9	22330	8647	1719	1567
Clamped-Clamped	301,3	259	77,34	56,45	30920	13980	5991	3673
Diferença %	45%	59%	216%	215%	38%	62%	249%	134%

É possível notar que no cenário com as extremidades restringidas (Clamped-Clamped) os valores críticos flambagem de compressão axial e momentos fletores foram superiores perante os cenários em que as extremidades estão simplesmente apoiadas (Simply-Simply). Essa diferença é maior na flambagem global com 216% de variação em compressão axial e 249% de variação percentual na flexão na maior inércia. Nos casos de flambagem local e distorcional, a variação percentual manteve um comportamento semelhante em ambos os cenários.

Em relação aos valores das forças de compressão axial de cálculo, há uma diferença de 215% muito grande entre os cenários. Isso acontece porque na situação com as extremidades restringidas a estrutura do perfil fica mais rígida e a sua resistência aumenta.

Nos momentos resistentes de cálculo para o eixo de maior flexão também houve mudanças nos valores. Restringir as extremidades reduziu o comprimento  $L$  pela metade ( $K=0.5$ ) e com isso o perfil ganhou mais rigidez e conseqüentemente uma maior resistência.

Portanto, pode-se concluir que projetos cujo os perfis são restringidos em suas extremidades possuem uma segurança maior quando submetidos a forças de compressão axial já que os valores críticos de projeto são mais elevados. Quando se diz a respeito à flexão, não há diferença entre restringir ou não as suas extremidades.

**Questão 3.** Aprimorar a seção rack para uso na compressão axial (montante de estrutura porta paletes), utilizando para isso enrijecedores intermediários. Os enrijecedores podem ser de 3 ou 4 dobras ou, ainda, com forma circular. O material é o aço estrutura CIVIL 350. O aprimoramento deve levar em conta os seguintes aspectos para avaliação de sua eficiência:

- a) Aumento das forças de flambagem  $L$ ,  $D$  e  $G$  ( $NL$ ,  $ND$  e  $Ne$ ).
- b) Aumento da resistência na compressão axial,  $NcRd$ .
- c) Consumo de material, expresso pela largura da chapa de fabricação da seção.

**Resposta:** Foram realizadas 3 modificações nas seções na seção Rack:

1. Inserção de enrijecedor de 3 dobras com deslocamento do nó central em 20 cm;
2. Inserção de enrijecedor de 4 dobras com deslocamentos dos nós centrais em 10 cm;
3. Inserção de enrijecedor de 4 dobras com deslocamento dos nós centrais em 15 cm.

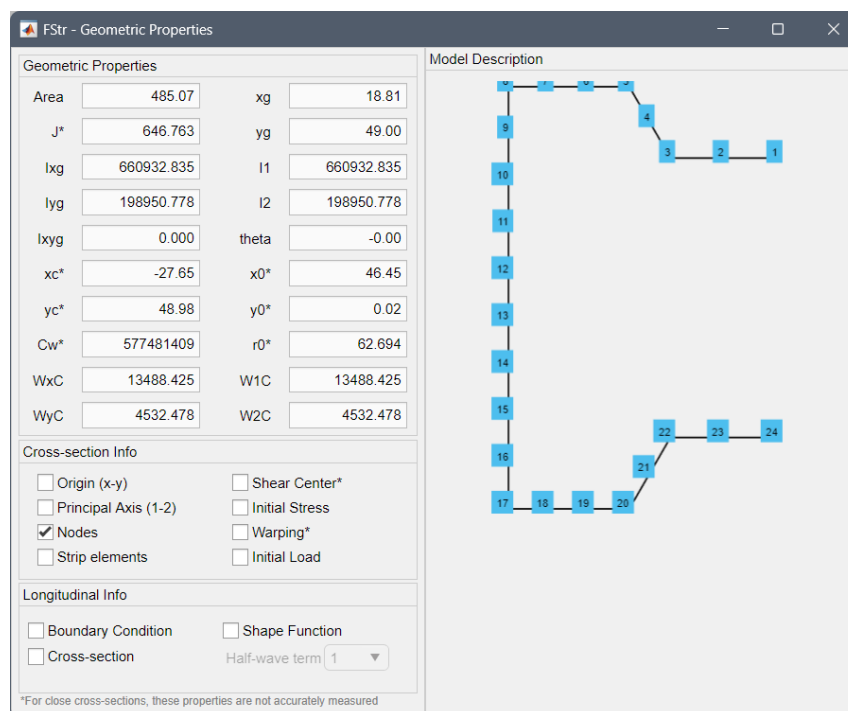
Em cada caso, foram realizados todos os cálculos de resistência à compressão axial e ao final uma análise entre os casos serviu para definir

qual seção Rack será mais eficiente dentre os aspectos propostos no enunciado do exercício.

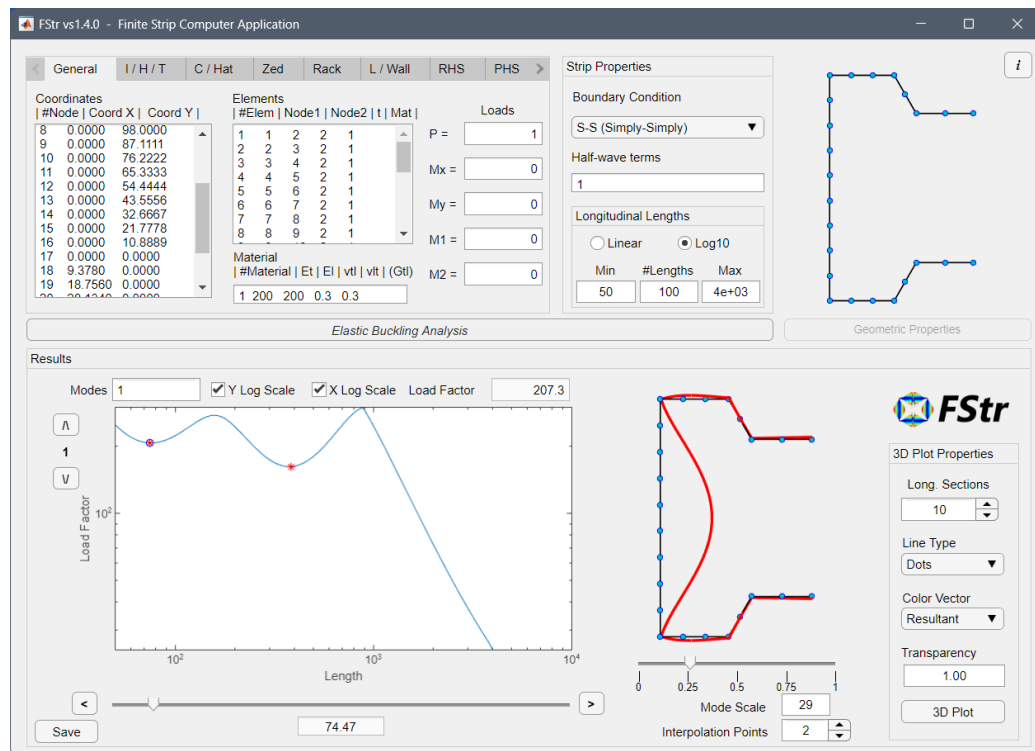
Os cálculos de todas as etapas estão em um documento anexo a este trabalho. O cálculo da **seção inicial** é o mesmo da **letra a da questão 1**.

Abaixo será apresentada as imagens das telas do FStr de todas as seções.

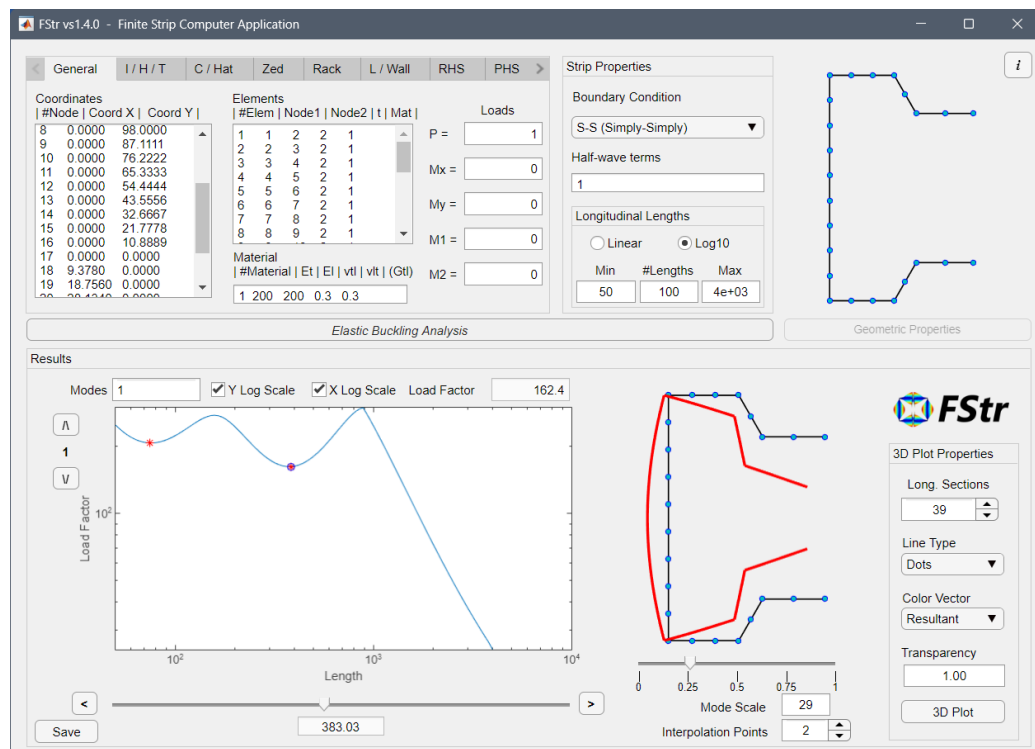
- **Seção Rack inicial**



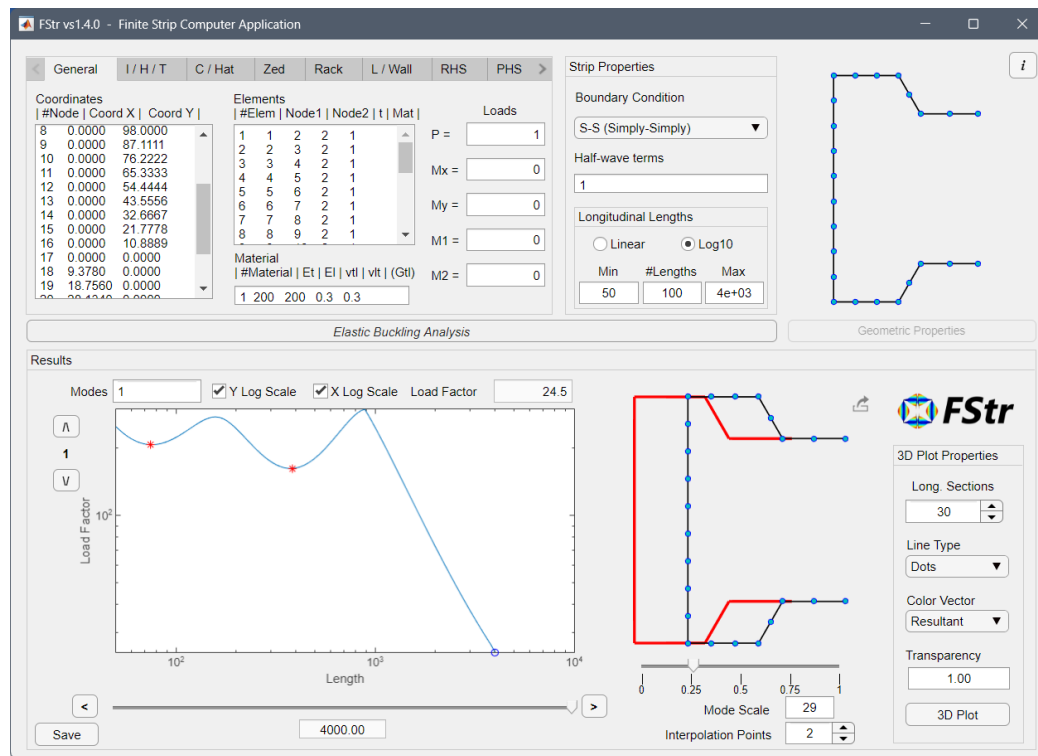
- Força Crítica de Flambagem Local



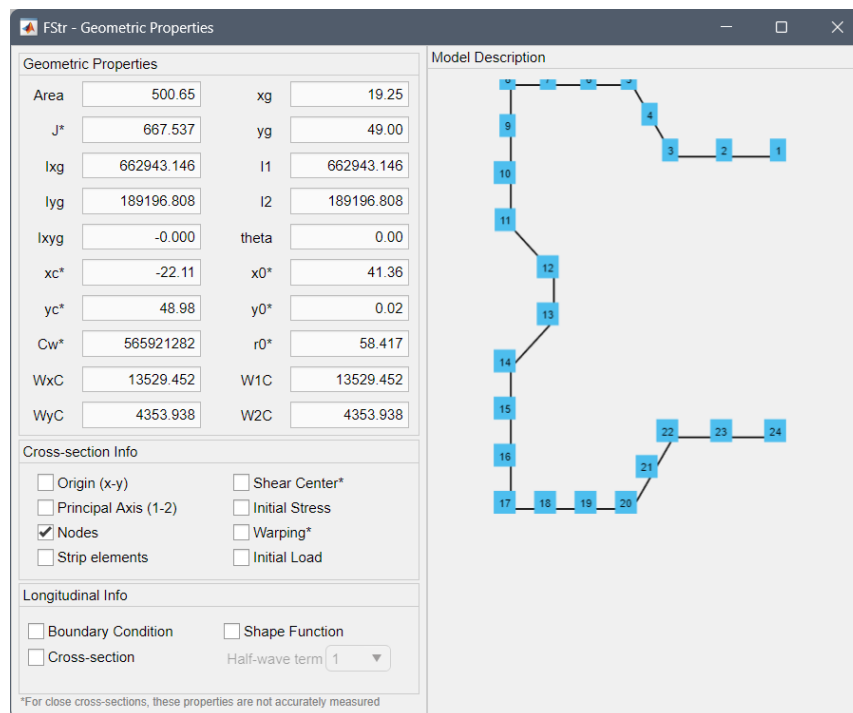
- Força Crítica de Flambagem Distorcional



- Força Crítica de Flambagem Global

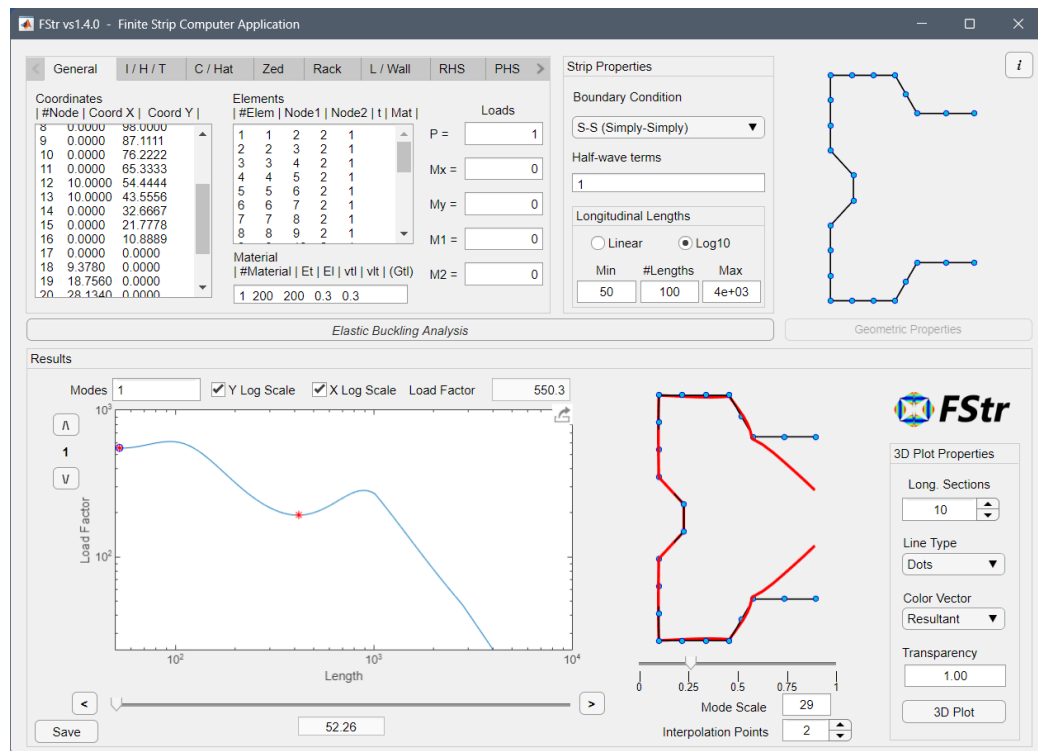


- Seção Rack com enrijecedor de 4 dobras com deslocamento 10 mm dos nós centrais 12 e 13.

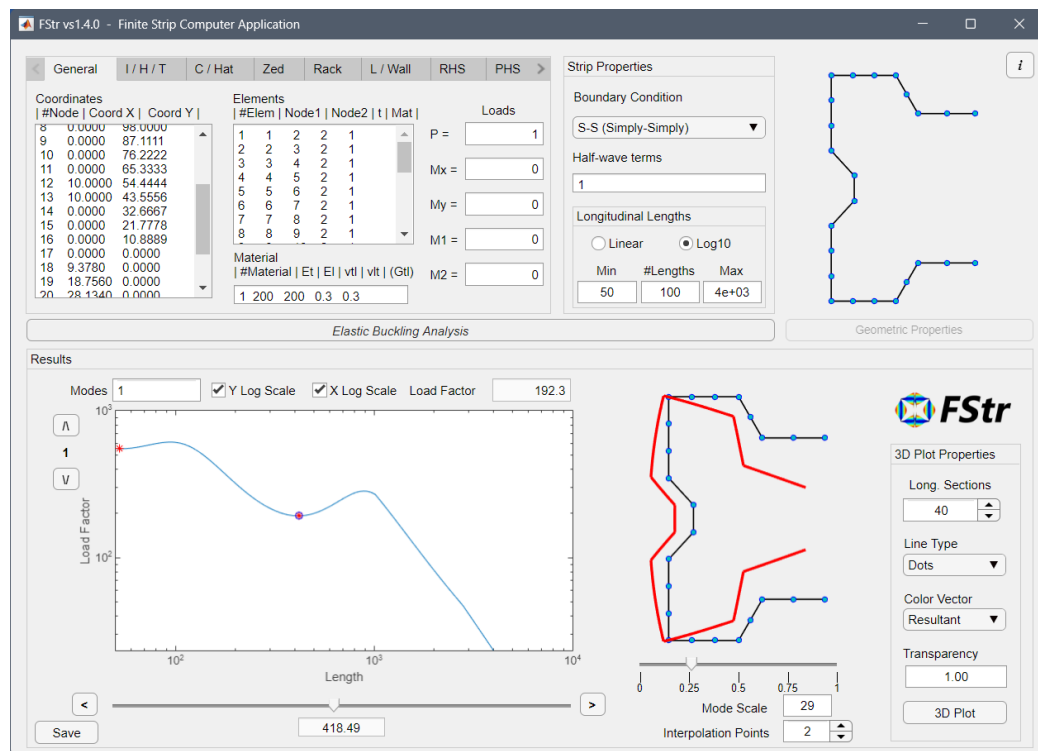




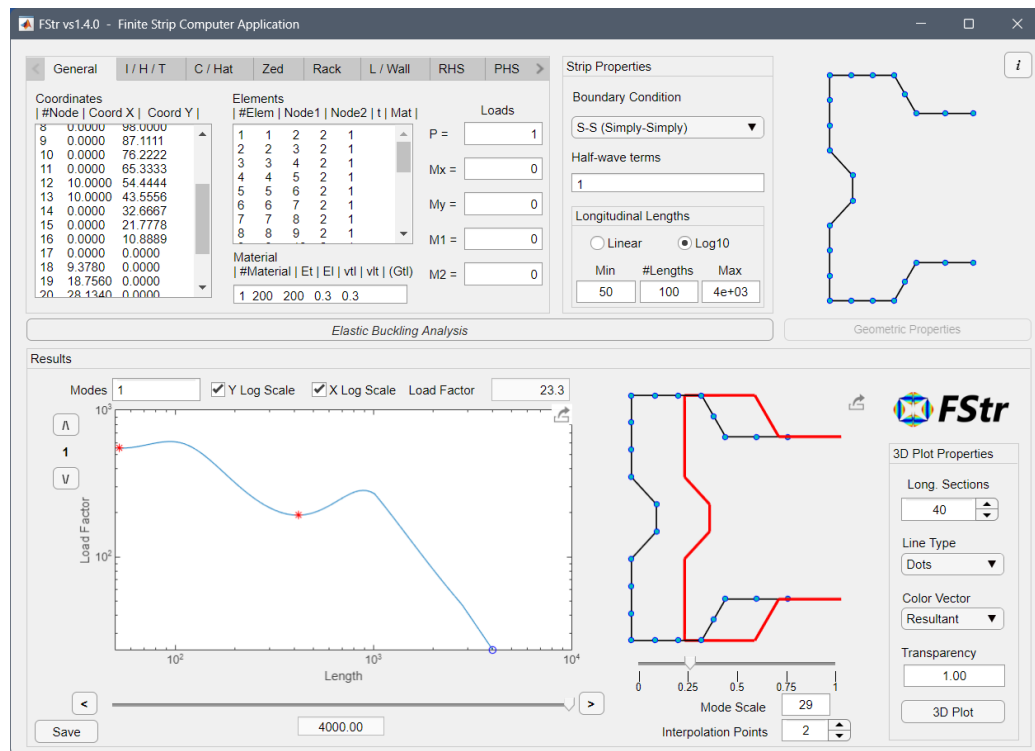
- Força Crítica de Flambagem Local



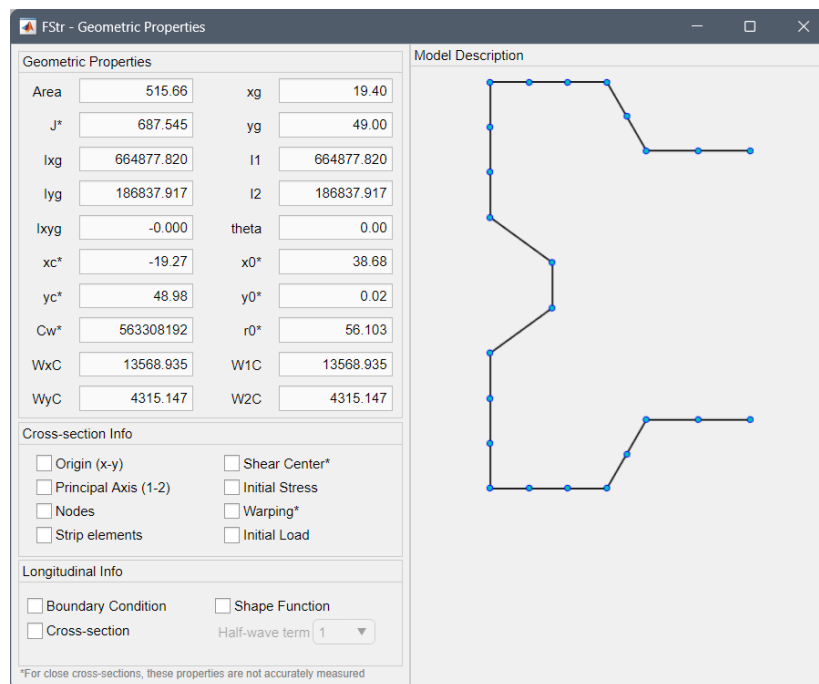
- Força Crítica de Flambagem Distorcional



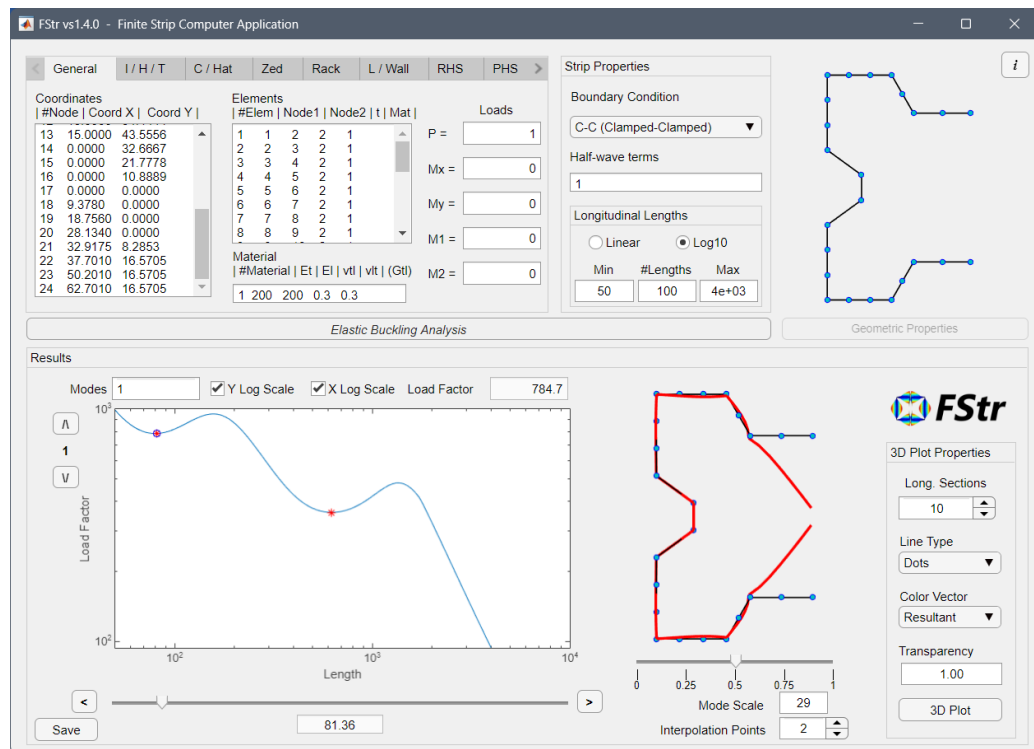
- Força Crítica de Flambagem Global



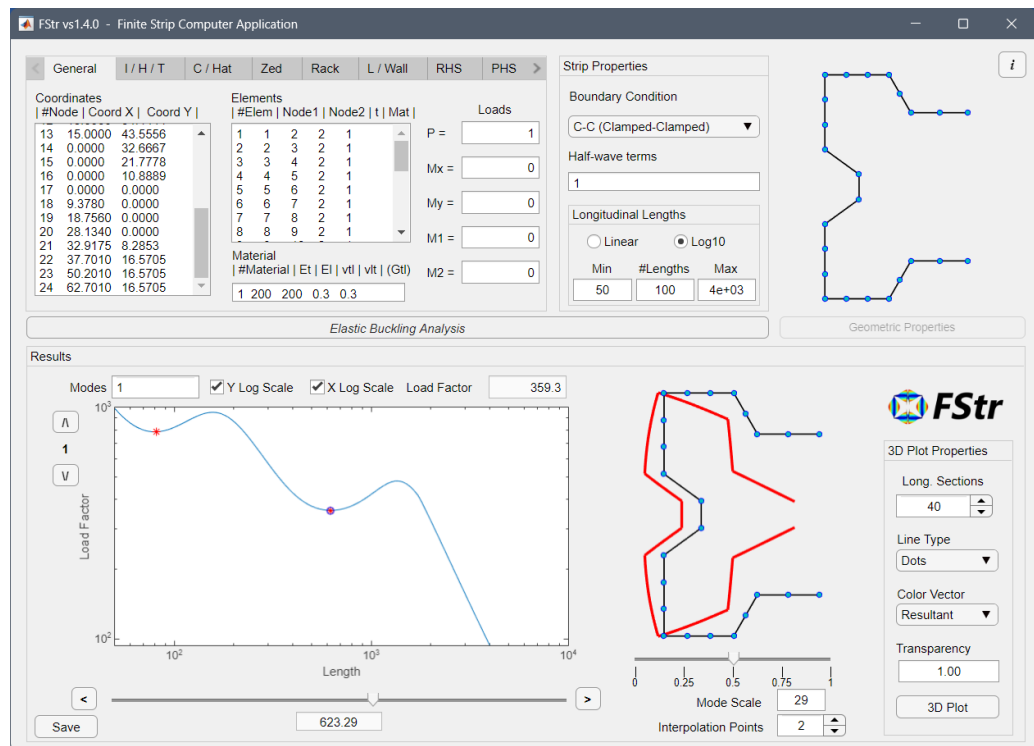
- Seção Rack com enrijecedor de 4 dobras com deslocamento 15 mm dos nós centrais 12 e 13.



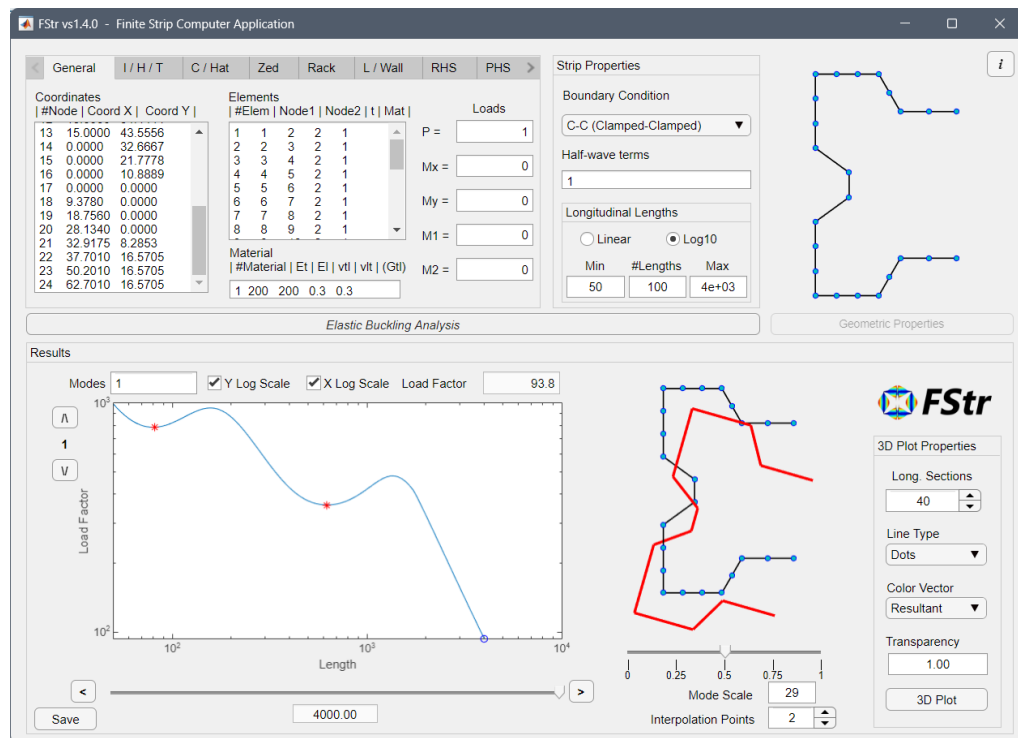
- Força Crítica de Flambagem Local



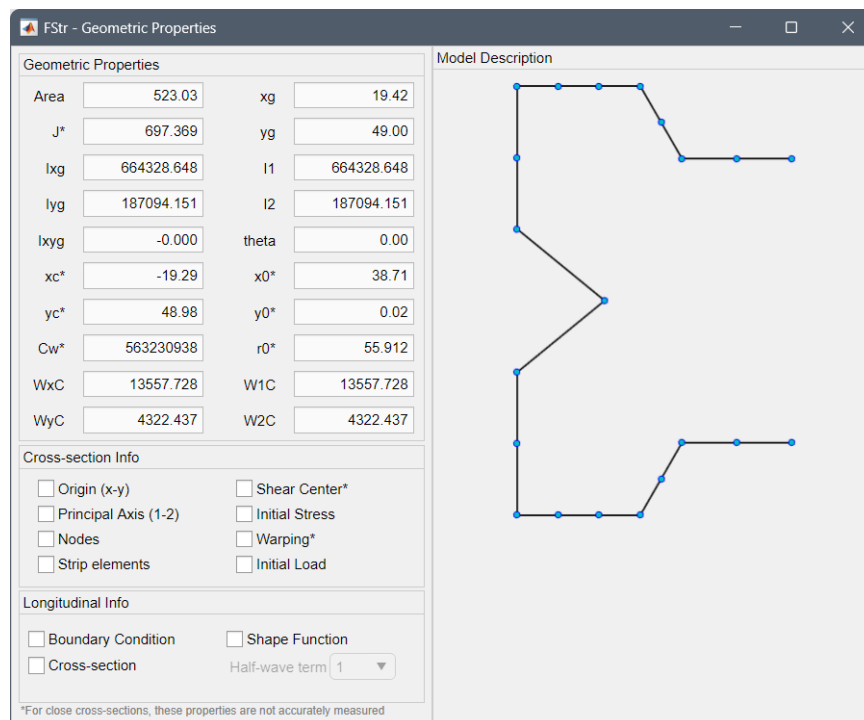
- Força Crítica de Flambagem Distorcional



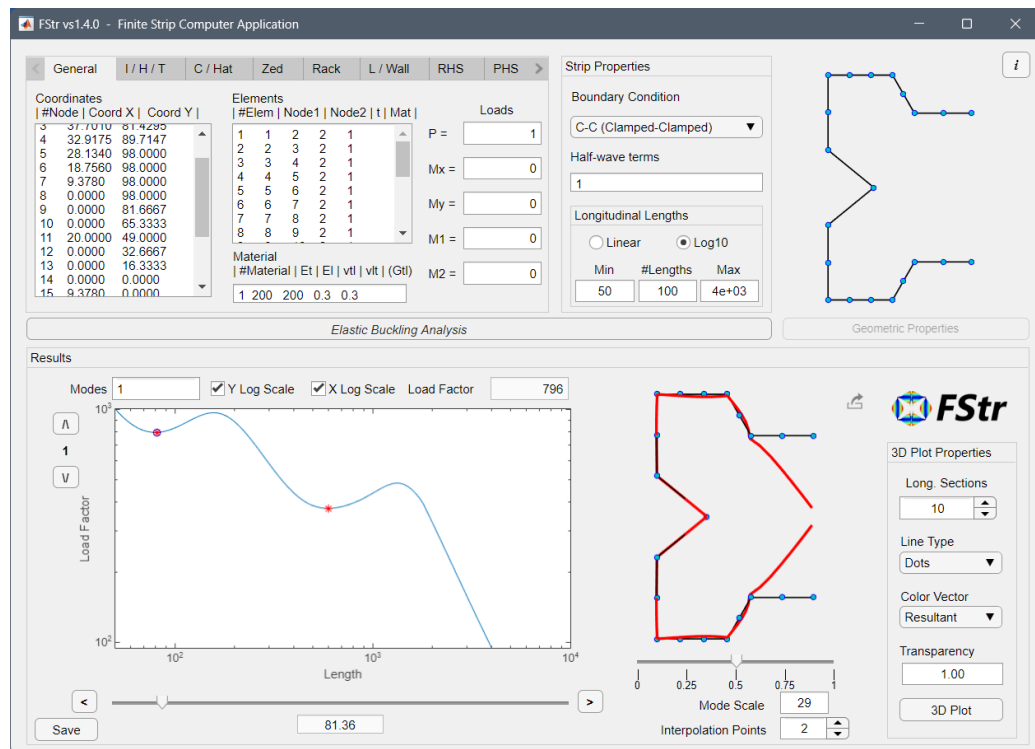
- Força Crítica de Flambagem Global



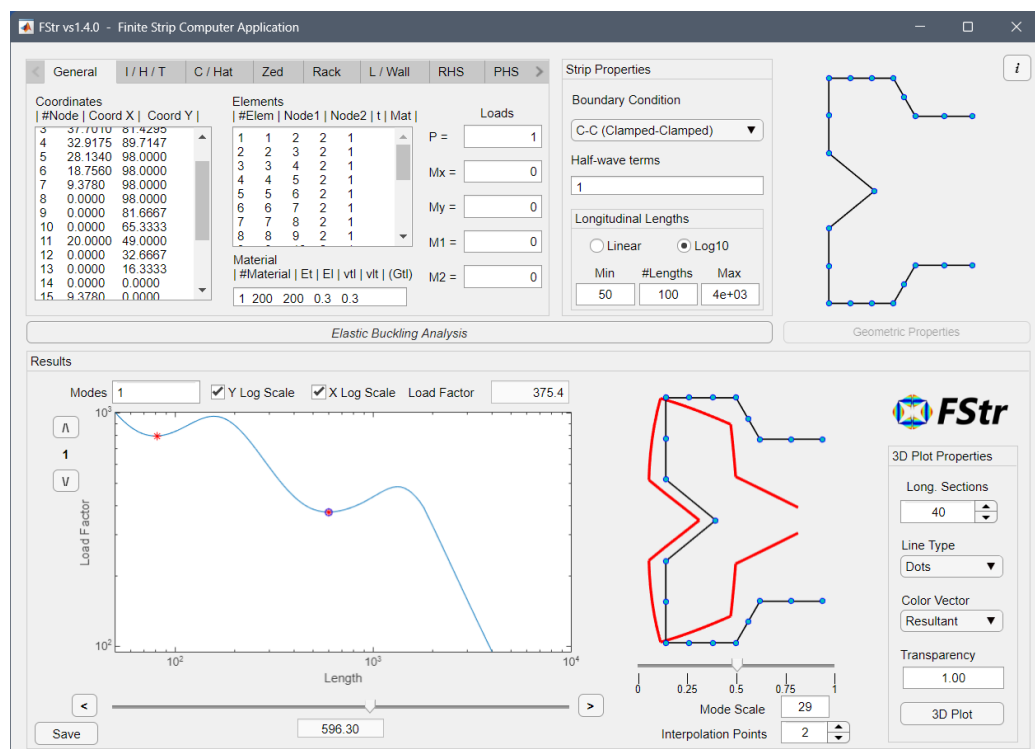
- Seção Rack com enrijecedor de 3 dobras com deslocamento 20 mm do nó central



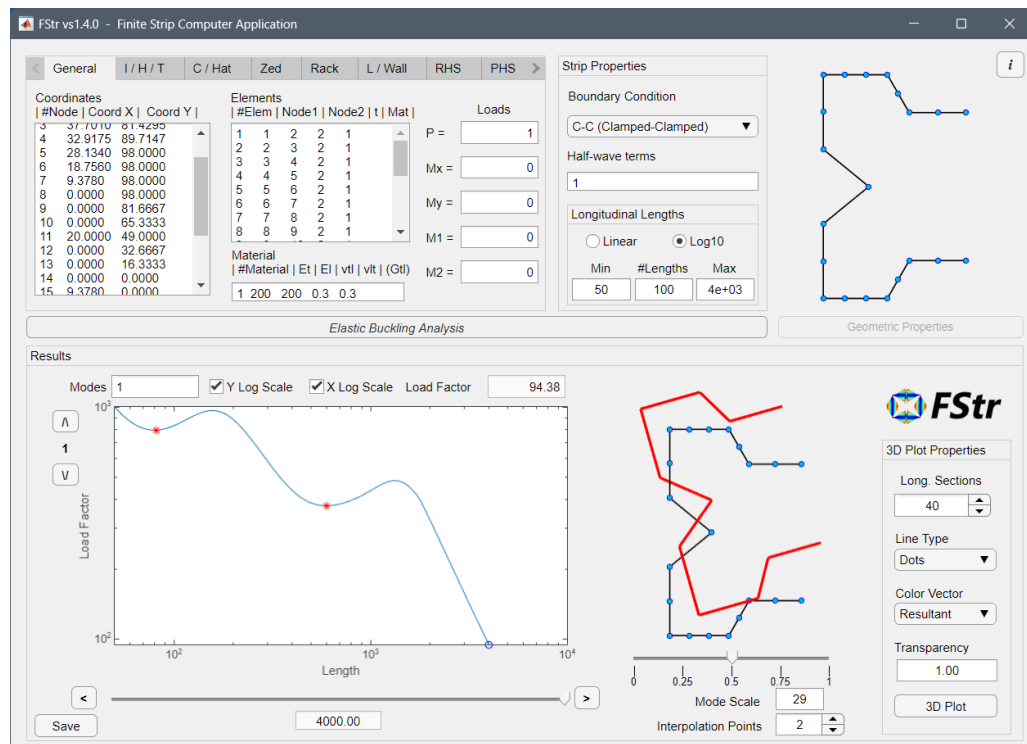
- Força Crítica de Flambagem Local



- Força Crítica de Flambagem Distorcional



- Força Crítica de Flambagem Global



- Tabela Resumo

Seção Rack	Área (mm <sup>2</sup> )	N <sub>L</sub> (kN)	N <sub>D</sub> (kN)	N <sub>e</sub> (kN)	N <sub>crd</sub> (kN)
Inicial	485,1	207,3	162,4	24,5	17,9
3 dobras	523,0	796,0	375,4	94,4	67,7
4 dobras (10 mm)	500,7	550,3	192,3	23,3	17,0
4 dobras (15 mm)	515,7	784,7	359,3	94,8	67,2

Após obter os resultados e analisar a tabela resumo, foi possível observar que a seção de 4 dobras (15 mm) será a escolhida como a seção mais eficiente. Nenhuma seção foi unânime em todos os aspectos, porém a seção citada tem um desempenho mais equilibrado nos requisitos.