

# CONSTRU METAL 2025

10º CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
DA CONSTRUÇÃO METÁLICA

CONTRIBUIÇÕES  
TECNOCIENTÍFICAS

Allianz Parque



# AUTOMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DE TERÇAS EM PERFIS Z FORMADOS A FRIO

Autores:

Caio Enrique Rust Barreto Cavalcante

Vinícius Nogueira Magalhães

João Victor Fragoso Dias

Adenilcia Fernanda Grobério Calenzani

**CONSTRU**  
**METAL**  
**2025**

**09 SET**

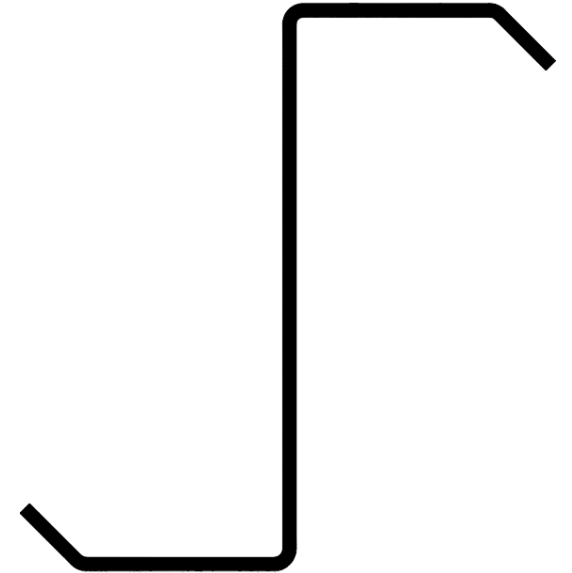
Allianz Parque  
São Paulo-SP

10º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA

# Introdução

## PERFIS FORMADOS A FRIO:

- Conformados a partir de chapas finas em temperatura ambiente;
- Perfis mais leves, com alta resistência e rapidez de execução;
- Alta relação inércia/peso;
- Suscetíveis a modos de instabilidade;
- Métodos de cálculos analiticamente complexos e pouco práticos.



# Objetivos:

**Desenvolver uma ferramenta computacional a fim de automatizar o cálculo terças em perfis Z enrijecidos a 90° e 45°.**

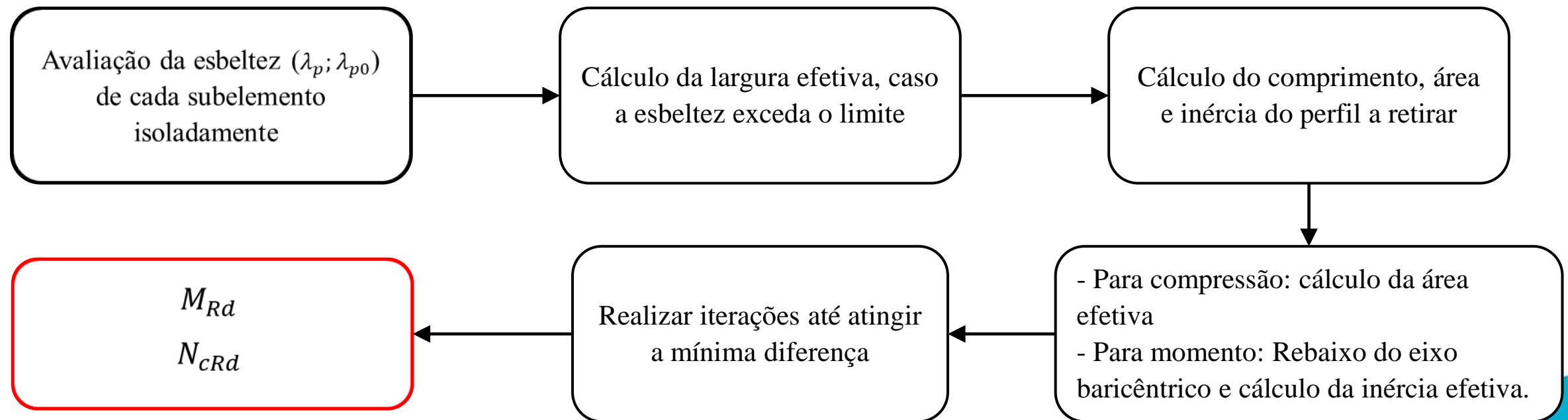
## **Métodos implementados:**

- Método da Largura Efetiva (MLE): Analisando os perfis quanto à flambagem local e global.
- Método da Resistência Direta (MRD): Analisando os perfis quanto à flambagem distorcional.

# Metodologia:

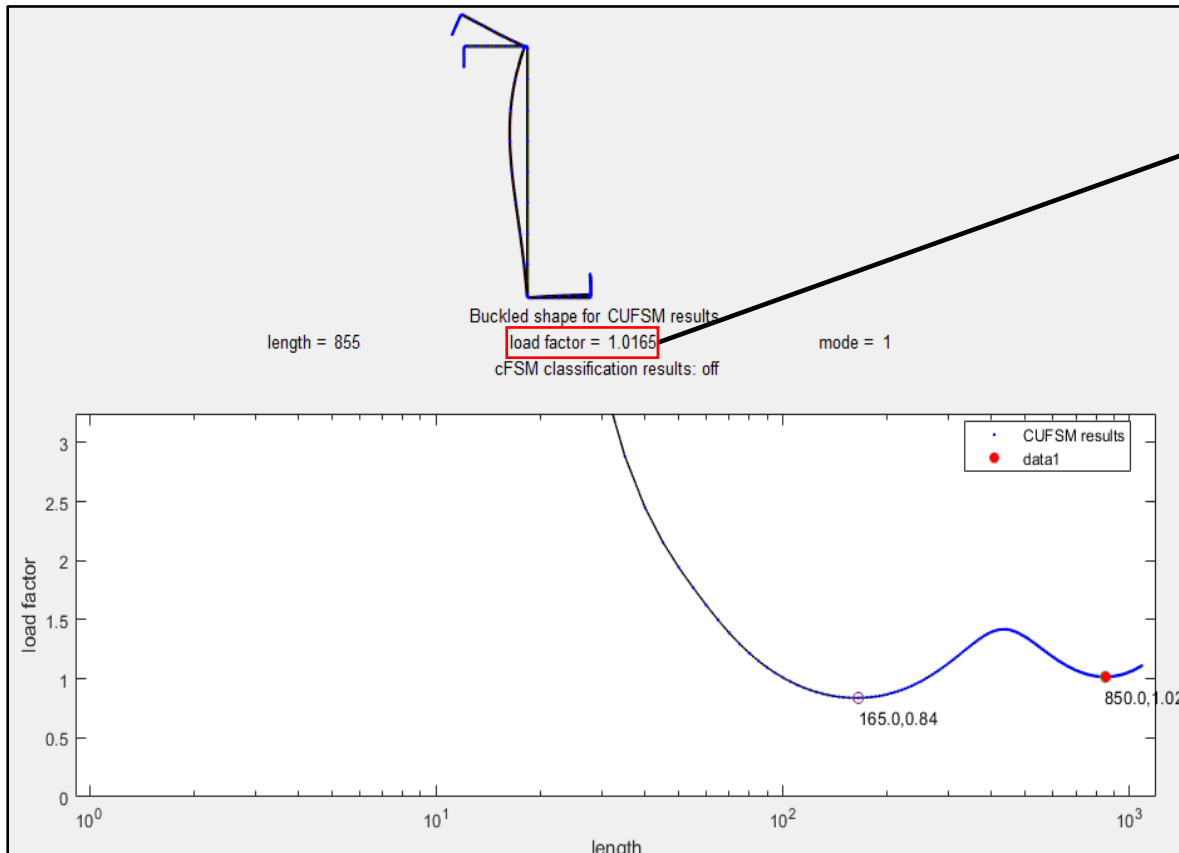
## Método da Largura Efetiva:

O MLE busca determinar larguras efetivas (reduzidas) dos subelementos de uma seção (enrijecedor, mesa e alma) submetidos à compressão.



## Método da Resistência Direta:

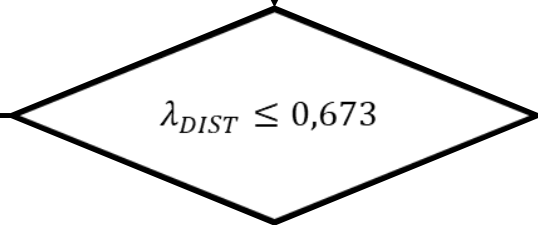
Baseia-se na avaliação do perfil como um todo através da análise de estabilidade elástica, sendo necessário o uso de programas computacionais (CUFSM) para sua aplicação.



$$M_{DIST} = W f_y L F$$

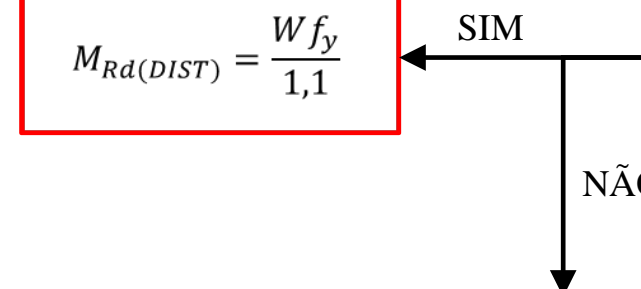
$$\lambda_{DIST} = \sqrt{\frac{W f_y}{M_{DIST}}}$$

$$M_{Rd(DIST)} = \frac{W f_y}{1,1}$$




NÃO

$$M_{Rd(DIST)} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{DIST}}\right) \frac{W f_y}{1,1 \lambda_{DIST}}$$



# Interface do modelo computacional:

- *Aba lateral – Dados de entrada*



**Parâmetros de Entrada**

**Estrutura e Geometria**

Tensão de escoamento ( $f_y$ , kN/cm<sup>2</sup>)

30,00 - +

Dist. entre tesouras ( $L_x$ , cm)

600,00 - +

Dist. entre terças (cm)

150,00 - +

Inclinação da cobertura (°)

10

0 45

**Modelo Estrutural**

Modelo de viga

Viga bi-apoiada  Viga contínua

*Para viga contínua foram consideradas 2 vãos*

Coefficiente  $C_b$  (Automático)

1.136

Nº de linhas de tirantes por vão

1

Diâmetro dos tirantes (mm)

10,00 - +

A telha funciona como travamento?

Sim  Não

A terça faz parte do quadro contraventado?

Sim  Não

**Carregamentos**

Peso próprio da telha (kg/m<sup>2</sup>)

-5,00 - +

Carga de vento (kN/m<sup>2</sup>)

-0,50 - +

Esforço axial de cálculo ( $N_{Sd}$ , kN) ?

5,00 - +

*É necessário inserir valores positivos para esforços com sentido para cima, e negativos para os esforços com sentido para baixo.*

**Seleção de Perfis para Análise**

Selecione o tipo de perfil

Z90  Z45

Escolha os perfis a serem analisados

Analisar todos os Z90

**Analisar Perfis**

Analisar todos os Z45

Z45 150x60x20x2.00

Z45 150x60x20x4.75

Z45 200x75x20x2.00

Z45 200x75x30x6.30

Z45 250x85x25x2.00

Z45 250x85x25x4.75

Z45 200x85x25x2.00

Analisar todos os Z45

**Analisar Perfis**

# Interface do modelo computacional:

- *Aba central – Parâmetros geométricos:*

## Ferramenta para Dimensionamento de Terças em Perfis Z enrijecidos

Visualizar Propriedades dos Perfis Disponíveis

Tipo	perfil	A	m	bw	bf	D	t	ix	Wx	rx	ly	Wy	ry	J	Cw
Z90	150x60x20x2.00	5.936990	4.660000	15	6.000000	2.000000	0.200000	207.211470	27.628200	5.907770	49.831900	8.446080	2.897150	0.079030	15
Z90	150x60x20x4.75	13.241470	10.390000	15	6.000000	2.000000	0.475000	435.225770	58.030100	5.733100	95.444980	16.563120	2.684780	0.991790	34
Z90	200x75x20x2.00	7.536990	5.920000	20	7.500000	2.000000	0.200000	466.482180	46.648220	7.867170	89.603520	12.108580	3.447970	0.100370	60
Z90	200x75x30x6.30	23.220290	18.230000	20	7.500000	3.000000	0.630000	1332.340050	133.234010	7.574840	271.188090	37.743650	3.417440	3.059420	180
Z90	250x85x25x2.00	9.136990	7.170000	25	8.500000	2.500000	0.200000	869.629280	69.570340	9.755860	138.802290	16.524080	3.897600	0.121700	150
Z90	250x85x25x4.75	20.841470	16.360000	25	8.500000	2.500000	0.475000	1908.620710	152.689660	9.569640	283.091950	34.262260	3.685530	1.563370	300
Z90	300x85x25x2.00	10.136990	7.960000	30	8.500000	2.500000	0.200000	1335.766770	89.051120	11.479180	138.805620	16.524480	3.700400	0.135030	225
Z90	300x85x30x6.30	30.780290	24.160000	30	8.500000	3.000000	0.475000	3848.046170	256.536410	11.181080	382.115410	46.684840	3.523390	4.059610	610
Z45	150x60x20x2.00	6.171830	4.730000	15	6.000000	2.000000	0.200000	222.803160	29.707090	6.008330	64.148860	8.892010	3.223940	0.079710	22
Z45	150x60x20x4.75	14.566090	10.810000	15	6.000000	2.000000	0.475000	511.301580	68.173540	5.924710	148.812880	21.445210	3.196310	1.013230	44

Todas as unidades dessa tabela são derivadas de centímetros.

# Interface do modelo computacional:

- *Aba central – Resultados:*

Perfil	$M_{Sd,x}$	$M_{Sd,y}$	$M_{x,Rd(ESC)}$	$M_{x,Rd(FLT)}$	$M_{x,Rd(DIST)}$	$M_{y,Rd(ESC)}$	$M_{y,Rd(FLT)}$	$M_{y,Rd(DIST)}$	$N_{Sd}$	$N_{c,Rd}$	Flexão Composta	Verificação
Z90 150x60x20x2.00	-957.216	22.324	753.496	231.597	753.496	230.348	230.348	230.348	5.000	30.660	4.393	✗ Não Passa
Z90 150x60x20x4.75	-931.822	23.723	1582.639	575.168	1582.639	451.721	451.721	451.721	5.000	59.381	1.757	✗ Não Passa
Z90 200x75x20x2.00	-951.632	22.632	977.166	547.527	1097.798	263.769	263.769	300.389	5.000	50.286	1.923	✗ Não Passa
Z90 200x75x30x6.30	-897.078	25.638	3633.655	1999.588	3633.655	1029.372	1029.372	1029.372	5.000	172.770	0.502	✓ Passa
Z90 250x85x25x2.00	-946.092	22.937	1373.770	960.907	1566.288	385.632	385.632	395.232	5.000	71.160	1.114	✗ Não Passa
Z90 250x85x25x4.75	-905.365	25.181	4164.263	2348.733	4164.263	934.425	934.425	934.425	5.000	193.987	0.438	✓ Passa
Z90 300x85x25x2.00	-942.591	23.130	1590.373	1147.536	1907.104	386.934	386.934	450.668	5.000	71.072	0.952	✓ Passa
Z90 300x85x30x6.30	-870.799	27.086	6996.448	4108.920	6996.448	1261.280	1261.280	1273.223	5.000	277.717	0.251	✓ Passa

Perfil	$M_{Sd,x}$	$M_{Sd,y}$	$M_{x,Rd(ESC)}$	$M_{x,Rd(FLT)}$	$M_{x,Rd(DIST)}$	$M_{y,Rd(ESC)}$	$M_{y,Rd(FLT)}$	$M_{y,Rd(DIST)}$	$N_{Sd}$	$N_{c,Rd}$	Flexão Composta	Verificação
Z45 150x60x20x4.75	-965.621	24.989	1859.278	696.527	1859.278	565.514	565.514	584.869	5.000	77.965	1.495	✗ Não Passa
Z45 200x75x30x6.30	-929.548	26.977	4295.738	2488.241	4295.738	1262.841	1262.841	1307.083	5.000	231.571	0.417	✓ Passa

Todos os esforços estão em kN e momentos em kN-cm.

# Resultados:

## Validação da ferramenta:

- Uso do software Dim Perfil 4.0 como referência aos resultados encontrados.
- Foram analisados 16 perfis no total, sendo 8 para cada configuração de enrijecedor (Z90 e Z45), com duas espessuras distintas por altura, de modo a contemplar a menor e a maior esbeltez.
- Tensão de trabalho: 300 MPa;
- Comprimento destravado ( $L_x$ ,  $L_y$  e  $L_z$ ): 300 cm;
- $C_b = 1,0$ .



# Validação da ferramenta – Resultados obtidos:

PERFIL Z90	RESULTADOS - MODELO COMPUTACIONAL						
	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Rd}$ (kN)
150x60x20x2,00	753,496	328,953	753,496	230,348	230,348	230,348	30,660
150x60x20x4,75	1582,639	812,425	1582,639	451,721	451,721	451,721	59,381
200x75x20x2,00	964,374	752,391	1097,080	263,769	263,769	300,389	50,286
200x75x30x6,30	3633,655	2573,609	3633,655	1029,372	1029,372	1029,372	172,770
250x85x25x2,00	1355,479	1124,499	1566,288	385,632	385,632	395,232	71,160
250x85x25x4,75	4164,263	2933,053	4164,263	934,425	934,425	934,425	193,987
300x85x25x2,00	1571,663	1328,618	1907,104	386,934	386,934	450,668	71,072
300x85x25x6,30	6996,448	4940,536	6996,448	1261,280	1261,280	1273,223	277,717

PERFIL Z90	RESULTADOS - DIMPERFIL 4.0						
	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Rd}$ (kN)
150x60x20x2,00	753,500	328,950	753,500	230,350	230,350	230,350	30,660
150x60x20x4,75	1582,640	812,430	1582,640	451,720	451,720	451,720	59,380
200x75x20x2,00	991,820	752,390	1112,520	264,800	264,800	330,230	50,290
200x75x30x6,30	3633,650	2573,610	3633,650	1029,370	1029,370	1029,370	172,770
250x85x25x2,00	1383,940	1135,060	N.C.	394,770	394,770	N.C.	71,160
250x85x25x4,75	4164,260	2933,050	4164,260	934,430	934,430	934,430	193,990
300x85x25x2,00	1606,847	1321,083	1933,760	395,984	395,984	450,670	71,072
300x85x25x6,30	6996,448	4940,536	6996,450	1273,223	1273,223	1273,220	283,126

PERFIL Z45	RESULTADOS - MODELO COMPUTACIONAL						
	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Rd}$ (kN)
150x60x20x2,00	781,317	394,150	687,807	239,194	239,194	217,353	36,439
150x60x20x4,75	1859,278	1068,823	1859,278	565,514	565,514	584,869	77,965
200x75x20x2,00	988,376	825,193	992,085	288,671	288,671	273,300	57,951
200x75x30x6,30	4295,738	3268,076	4295,739	1262,841	1262,841	1307,083	231,571
250x85x25x2,00	1347,804	1139,789	1389,176	389,567	389,567	348,226	81,071
250x85x25x4,75	4635,837	3488,744	4623,813	1083,722	1083,722	1110,005	242,912
300x85x25x2,00	1548,059	1324,665	1696,173	391,549	391,549	342,211	81,511
300x85x25x6,30	7980,465	6117,174	7980,464	1542,246	1542,246	1590,869	375,069

PERFIL Z45	RESULTADOS - DIMPERFIL 4.0						
	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Rd}$ (kN)
150x60x20x2,00	779,520	394,150	695,260	242,509	242,509	220,280	36,430
150x60x20x4,75	1859,280	1068,820	1859,280	584,869	584,869	584,870	77,970
200x75x20x2,00	997,590	822,890	1001,140	289,365	294,440	277,330	57,950
200x75x30x6,30	4295,740	3268,080	4295,740	1307,083	1307,083	1307,080	231,560
250x85x25x2,00	1352,430	1139,990	1401,050	390,849	393,586	353,280	81,070
250x85x25x4,75	4635,840	3488,740	4635,840	1110,000	1110,000	1110,000	242,920
300x85x25x2,00	1563,756	1315,410	1709,730	389,656	395,619	347,330	81,510
300x85x25x6,30	7980,465	6117,170	7980,460	1590,869	1590,869	1590,870	375,070

# Validação da ferramenta – Comparação entre resultados:

PERFIL Z90	COMPARAÇÃO						
	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Rd}$ (kN)
150×60×20×2,00	-0,0005%	0,0009%	-0,0005%	-0,0010%	-0,0010%	-0,0009%	0,0007%
150×60×20×4,75	-0,0001%	-0,0006%	-0,0001%	0,0003%	0,0003%	0,0002%	0,0015%
200×75×20×2,00	-1,4996%	0,0002%	-1,4074%	-0,3907%	-0,3907%	-9,9341%	-0,0070%
200×75×30×6,30	0,0001%	0,0000%	0,0001%	0,0002%	0,0002%	0,0002%	-0,0001%
250×85×25×2,00	-0,7403%	-0,3155%	N.C.	-2,3697%	-2,3697%	N.C.	-0,0005%
250×85×25×4,75	0,0001%	0,0001%	0,0001%	-0,0005%	-0,0005%	-0,0005%	-0,0013%
300×85×25×2,00	-1,0360%	0,8851%	-1,3977%	-2,3389%	-2,3389%	-0,0004%	0,0000%
300×85×25×6,30	0,0000%	0,0000%	0,0000%	-0,9469%	-0,9469%	0,0002%	-1,9477%
<b>Média Aritmética</b>	<b>-0,4095%</b>	<b>0,0713%</b>	<b>-0,4008%</b>	<b>-0,7559%</b>	<b>-0,7559%</b>	<b>-1,4193%</b>	<b>-0,2443%</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,0060</b>	<b>0,0035</b>	<b>0,0068</b>	<b>0,0104</b>	<b>0,0104</b>	<b>0,0375</b>	<b>0,0069</b>

PERFIL Z45	COMPARAÇÃO						
	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Rd}$ (kN)
150×60×20×2,00	0,2300%	0,0000%	-1,0836%	1,3670%	1,3670%	-1,3467%	0,0247%
150×60×20×4,75	0,0001%	0,0003%	-0,0001%	3,3093%	3,3093%	-0,0002%	0,0064%
200×75×20×2,00	0,9236%	0,2791%	-0,9127%	0,2398%	1,9593%	-1,4746%	0,0017%
200×75×30×6,30	0,0000%	0,0001%	0,0000%	3,3848%	3,3848%	0,0002%	0,0048%
250×85×25×2,00	0,3421%	0,0176%	-0,8548%	0,3280%	1,0211%	-1,4514%	0,0012%
250×85×25×4,75	0,0001%	0,0001%	-0,2601%	2,3674%	2,3674%	0,0005%	0,0033%
300×85×25×2,00	1,0038%	-0,6987%	-0,7993%	0,4835%	1,0288%	-1,4959%	0,0012%
300×85×30×6,30	0,0000%	0,0001%	0,0001%	3,0564%	3,0564%	-0,0001%	0,0003%
<b>Média Aritmética</b>	<b>0,3125%</b>	<b>-0,0502%</b>	<b>-0,4888%</b>	<b>1,8170%</b>	<b>2,1868%</b>	<b>-0,7210%</b>	<b>0,0055%</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,0042</b>	<b>0,0028</b>	<b>0,0047</b>	<b>0,0137</b>	<b>0,0099</b>	<b>0,0077</b>	<b>0,0001</b>

**Para ambos os perfis (Z90 e Z45):**

- Erro médio máximo de 2,2%;
- Desvio padrão máximo de 0,0137 kNcm.

# Simulação de dimensionamento estrutural

- Caso exemplo: Z45 200×75×20×2,00 — biapoiada e contínua em dois vãos:

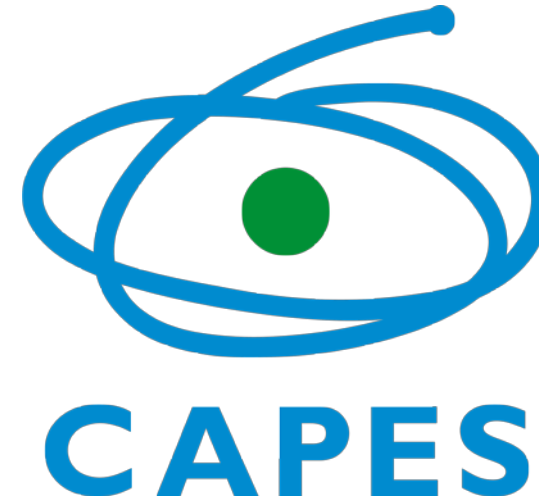
Dados de entrada na interface		
Tensão de escoamento	300,00	MPa
Afastamento entre terças	2,50	m
Distância entre tesouras	6,00	m
Inclinação da cobertura	10,00	°
Diâmetro dos tirantes	10,00	mm
Peso próprio da telha	-6,00	kg/m <sup>2</sup>
Carga de vento	0,63	kN/m <sup>2</sup>
Esforço axial de cálculo	30,00	kN

VIGA BIAPOIADA   1 TIRANTE POR VÃO										
$M_{x,Sd}$ (kNcm)	$M_{y,Sd}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Sd}$ (kN)	$N_{c,Rd}$ (kN)	Verificação
-892,48	23,81	988,38	887,78	992,09	288,67	288,67	273,30	30,00	57,95	Não Passa
VIGA CONTÍNUA   1 TIRANTE POR VÃO										
$M_{x,Sd}$ (kNcm)	$M_{y,Sd}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Sd}$ (kN)	$N_{c,Rd}$ (kN)	Verificação
892,48	20,41	988,38	858,51	992,09	288,67	288,67	273,30	30,00	57,95	Não Passa
VIGA CONTÍNUA   2 TIRANTES POR VÃO										
$M_{x,Sd}$ (kNcm)	$M_{y,Sd}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Sd}$ (kN)	$N_{c,Rd}$ (kN)	Verificação
892,48	8,96	988,38	963,67	992,09	288,67	288,67	273,30	30,00	95,05	Passa
VIGA CONTÍNUA   3 TIRANTES POR VÃO										
$M_{x,Sd}$ (kNcm)	$M_{y,Sd}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{x,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(ESC)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(FLT)}$ (kNcm)	$M_{y,Rd(DIST)}$ (kNcm)	$N_{c,Sd}$ (kN)	$N_{c,Rd}$ (kN)	Verificação
892,48	5,03	988,38	988,38	992,09	288,67	288,67	273,30	30,00	103,55	Passa

# Conclusão:

- A validação foi satisfatória frente à comparação com o Dim Perfil 4.0;
- A ferramenta permite que o engenheiro analise rapidamente o impacto de diferentes configurações;
- Adotar mais tirantes por vão destravado pode aumentar significativamente a resistência a FLT e reduzir o momento solicitante em torno do eixo paralelo a alma da seção;
- Considerar as telhas como travamento da mesa superior é válido, mas não deve ser adotado quando o momento fletor for negativo.

# ➤ Agradecimentos:



# CONSTRU METAL 2025

09 SET

Allianz Parque  
São Paulo-SP

10º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA

[WWW.CONGRESSOCONSTRUMETAL.COM.BR](http://WWW.CONGRESSOCONSTRUMETAL.COM.BR)



@CONGRESSOCONSTRUMETAL

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO E PROMOÇÃO



AGÊNCIA DE VIAGENS OFICIAL

