

3.0
VERSÃO

mCalcPerfis

mCalc Perfis: Verificação de perfis laminados, soldados e formados a frio

Manual do Usuário



AVISOS IMPORTANTES

1. Responsabilidade do Usuário

O sistema **mCalcPerfis** está sendo desenvolvido por profissionais qualificados e especializados.

As rotinas do sistema foram testadas simulando inúmeras possibilidades, por um número muito grande de profissionais.

Embora se tenha despendido um enorme esforço na elaboração e na validação dessas rotinas, é possível que sejam detectados problemas em casos ainda não testados.

(A **STABILE ENGENHARIA LTDA.** agradecerá a indicação de eventuais erros observados quando da utilização do sistema).

Alerta-se que será da responsabilidade do usuário, além da verificação dos dados introduzidos, a verificação e aceitação dos resultados obtidos.

A proprietária desse sistema - **STABILE ENGENHARIA LTDA.** – seus distribuidores e representantes não poderão ser responsabilizados, a qualquer tempo, pelos resultados obtidos pelo sistema.

2. Condição de Licenciamento e estado de desenvolvimento do sistema

O sistema **mCalcPerfis**, a seguir descrito, embora continue em constante desenvolvimento e aperfeiçoamento, está sendo licenciado do jeito em que ele está, não havendo nenhuma promessa formal, implícita ou explícita, de futuras atualizações ou de desenvolvimento de outras rotinas.

3. Proteção contra uso indevido

O sistema **mCalc** está protegido contra uso indevido por meio de um *Rockey*.

Nunca confie nos resultados do cálculo de uma estrutura que tenha sido calculada sem que o *Rockey* tenha sido *plugado*. Certamente, serão obtidos resultados inconsistentes e não confiáveis.

4. Leitura do Manual do Usuário

O sistema **mCalcPerfis** está muito bem documentado, com descrição desde sua instalação até a utilização das rotinas de cálculo de estruturas mistas.

O **Manual do Usuário** (a referida documentação) foi redigido na forma de um *tutorial*, onde mais do que apresentar os tópicos do sistema, descrevem-se, passo a passo e com rica ilustração, os procedimentos a serem seguidos para se obter bons resultados na utilização desse sistema.

Por isso recomenda-se, **com veemência**, a leitura desse manual.

Certamente as respostas às dúvidas surgidas ou as soluções aos problemas observados na utilização do sistema terão resposta na leitura criteriosa do manual.

Lembrar que: quando tudo estiver perdido e nada parecer funcionar ... é hora de se ler o manual.

AGRADECIMENTOS

A **STABILE ENGENHARIA LTDA.** recebeu, desde o início do desenvolvimento desse sistema, a ajuda inestimável e desinteressada de inúmeras pessoas.

De público agradecemos essas valiosas contribuições, sem as quais seria muito mais difícil a elaboração do **CalcPerfis**

Antecipadamente agradecemos as contribuições que ainda virão, aperfeiçoando o **CalcPerfis**, tornando-o uma imbatível ferramenta para projetos de estruturas metálicas.

CONTEÚDO

Capítulo 1. Uma Visão Geral

1.1 Introdução	1 -2
1.2 O pacote CalcPerfis	1-2
1.3 Equipamento Necessário	1 -3
1.4. Instalando o CalcPerfis	1 -3
1.5. Iniciando o CalcPerfis	1 -3
1.6. Usando o CalcPerfis	1 -4
1.6.1 Ajustando as configurações do CalcPerfis	1 -4
1.6.2 Recursos gerais do CalcPerfis	1 -5

Capítulo 2. Perfis Formados a Frio

2.1 Resistência à Tração de Perfis Formados a Frio.....	2 -4
2.2 Resistência à Compressão de Perfis Formados a Frio.....	2 -5
2.2.1 Perfis Compostos.....	2 -5
2.2.2 Procedimentos de Cálculo.....	2 -8
2.3 Resistência à Flexão de Perfis Formados a Frio.....	2 -9
2.3.1 Momento Resistente do Início do Escoamento da Seção Efetiva.....	2 -9
2.3.2 Momento Resistente na Flambagem Lateral com Torção.....	2 -10
2.4 Resistência ao Esforço Cortante.....	2-10

Capítulo 3. Perfis Laminados/Soldados

3.1 Resistência à Tração de Perfis Laminados/Soldados.....	3 -6
3.2 Resistência à Compressão de Perfis Laminados/Soldados.....	3 -6
3.3 Resistência à Flexão de Perfis Laminados/Soldados.....	3 -7
3.4 Resistência ao Esforço Cortante de Perfis Laminados/Soldados.....	3 -8

Capítulo 4. Mensagens de Alerta

4.1 Mensagens Exibidas por falta de Dados Declarados.....	4 -2
4.2 Alertas com Relação à Esbeltez	4 -3

CAPÍTULO 1.



mCalcPerfis - UMA VISÃO GERAL



CAPÍTULO 1. mCalcPerfis - UMA VISÃO GERAL

1.1 INTRODUÇÃO

A **STABILE ENGENHARIA LTDA**, uma empresa projetista de estruturas metálicas, atuando no mercado de Engenharia Estrutural desde OUT/1975, com trabalhos em vários países da América do Sul e África, tem o orgulho de apresentar a versão do seu programa **mCalcPerfis**.

O **mCalcPerfis** é uma calculadora de perfis de aço, que roda independente do **mCalc**, assumindo uma função de calculadora de perfis; ou que roda integrado aos programas **WMix**, **TQS Steel** ou **mCalc3D**, sendo o módulo **Dimensionamento** destes programas.

Rodando-se isoladamente, na função calculadora, pode-se verificar perfis obtendo-se as resistências de cálculo quanto aos esforços normal, cortante e flexão. E, também, fazendo as respectivas verificações da relação solicitação-resistência.

O **mCalcPerfis**, possui as seguintes características, indispensáveis para a obtenção de aumento de produtividade:

- Entrada de dados amigável e interativa
- Uso de perfis laminados, soldados e perfis formados a frio
- Procedimentos de cálculo de acordo com as normas da NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010
- Programa *sensitivo*: depois que o tipo de perfil for escolhido o programa, sem nenhuma informação adicional fornecida pelo usuário, opta pela norma adequada ao seu tipo (formado a frio ou laminado/soldado).
- Gera um relatório detalhado em padrão RTF

1.2 O PACOTE mCalcPerfis

O pacote do programa **mCalcPerfis** é composto por:

- Embalagem
- CD do sistema
- Manual do Usuário
- *Chaveador de Hardware (Rockey 4)* (para usuários de outro programa da família **mCalc** esse item não será fornecido)

Certifique-se que todos esses itens constam na documentação remetida. Em caso de algum problema contacte a **STABILE** e relate o problema.

1.3 EQUIPAMENTO NECESSÁRIO

Por ter sido desenvolvido no ambiente *Windows* o programa **mCalcPerfis** rodará em qualquer computador que rode o *Windows 95, 98, 2000, Me, NT ou XP, Vista e Win Seven* entretanto sugere-se instalar o sistema num equipamento rápido com boa placa de vídeo, monitor de boa resolução e sobretudo com memória mínima de 64 MB.

1.4 INSTALANDO O **mCalcPerfis**

A instalação do sistema **mCalcPerfis** é simples e é conduzida pelo programa instalador:

- Coloca-se o CD no *driver*
- O programa de instalação rodará automaticamente.
- O instalador sugerirá o nome da pasta onde o programa será instalado. Caberá ao usuário aceitar ou não a sugestão.

Todos os módulos do sistema **mCalcPerfis** são protegidos contra uso indevido por meio de um *Chaveador Rockey 4*

Nunca confie nos resultados do cálculo de uma estrutura que tenha sido calculada sem que o *Rockey 4* tenha sido *plugado*.

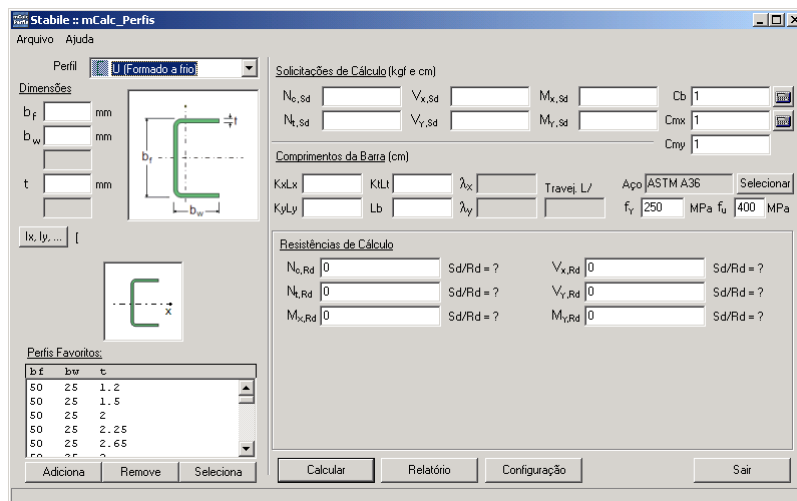
Certamente, serão obtidos resultados inconsistentes e não confiáveis.

1.5 INICIANDO O **mCalcPerfis**

Após a instalação do programa, para carregar o **mCalcPerfis** basta clicar sobre o ícone criado pela instalação do programa.



Será exibida a tela principal do programa:



A partir desta tela principal o usuário deverá selecionar o perfil que deseja dimensionar, assim como a orientação em que ele encontra-se na estrutura.

Ressalta-se que antes de efetuar os cálculos é importante que sejam editadas as configurações para informar ao programa os critérios que deverão ser usados, além do modo de exibição dos dados de saída fornecidos pelo relatório.

1.6 USANDO O mCalcPerfis

1.6.1 AJUSTANDO AS CONFIGURAÇÕES DO mCalcPerfis

Para ajustar as configurações deve-se clicar no botão **Configuração** dessa forma são escolhidas as unidades para exibição dos resultados no relatório e as principais características para os cálculos que serão executados para fazer as verificações nas peças.

Clicando neste botão abrirá uma janela com dois índices: Unidades e Coeficientes; e Dados. O índice Unidades e Coeficientes tem o seguinte aspecto:

Deverá ser informada a unidade de comprimento que será empregada nos cálculos.

Deverá ser declarado o raio interno de dobra para os perfis formados a frio, expresso em função da espessura do perfil. Por default o valor é igual a 1.

Fator de redução da área bruta da seção. A área efetiva da barra será considerada no cálculo da resistência à tração do perfil. A % inserida neste campo será o quão irá reduzir a área bruta calculada após a seleção do perfil.

Selecionar unidades de força.

A precisão para exibição dos resultados no relatório poderá ser de até 5 casas decimais.

Limites de esbeltez para tração e compressão. Definidos como padrão 300 e 200, respectivamente. De acordo com as normas de projeto. Podendo ser alterados.

Sempre que os dados default do programa forem alterados e o usuário queira recuperá-los, deverá ser acionado o botão PADRÃO.

Índice Dados:

Estes campos deverão ser preenchidos para serem exibidos no cabeçalho do relatório.

Acionando este botão os dados para o cabeçalho são apagados.

1.6.2. RECURSOS GERAIS

No ambiente da janela principal do programa existem alguns botões para execução e seleção de valores para posterior verificação.

O primeiro procedimento é a seleção do perfil:

No caso de perfis formados a frio ou soldados, estes campos estarão habilitados para editar as dimensões.

Seleciona-se o perfil entre 42 opções.

Este botão, quando acionado, exibe as propriedades geométricas do perfil selecionado.

Clica-se na figura para orientar o perfil conforme ele será empregado na estrutura.

Banco de dados de perfis. Podendo ser adicionado ou removido, caso o perfil seja formado a frio ou soldado.

b _f	b _w	D	t
150	60	20	2
150	60	20	2.25
150	60	20	2.65
150	60	20	3
150	60	20	3.35
150	60	20	3.75

Perfil Simple		Perfil Composto	
I_x	76,19 cm ⁴	I_x	152,38 cm ⁴
I_y	16,989 cm ⁴	I_y	211,243 cm ⁴
x_g	1,77 cm	x_g	0 cm
y_g	5 cm	y_g	0 cm
Área	4,86 cm ²	Área	9,72 cm ²
I_t	-	I_t	0,085 cm ⁴
C_{wp}	-	C_{wp}	468,75 cm ⁶
x_0	-	x_0	0 cm
y_0	-	y_0	0 cm
Peso	3,815 kgf/m	Peso	7,63 kgf/m
r_x	3,959 cm	r_x	3,959 cm
r_y	1,87 cm	r_y	4,662 cm

Propriedades geométricas do perfil simples.

Propriedades geométricas do perfil composto.

Outros dados a serem fornecidos pelo usuário:

Solicitações de Cálculo (kgf e cm)

: neste campo, o usuário poderá ou não declarar as solicitações. Elas somente serão necessárias para que seja feita a relação solicitação/resistência. As solicitações a declarar são as seguintes:

Solicitações de Cálculo (kgf e cm)					
$N_{c, sd}$	<input type="text"/>	$V_{x, sd}$	<input type="text"/>	$M_{x, sd}$	<input type="text"/>
$N_{t, sd}$	<input type="text"/>	$V_{y, sd}$	<input type="text"/>	$M_{y, sd}$	<input type="text"/>

Solicitação normal de cálculo à compressão

Solicitação cortante de cálculo na direção x

Momento fletor solicitante de cálculo em torno do eixo x

Solicitação normal de cálculo à tração

Solicitação cortante de cálculo na direção y

Momento fletor solicitante de cálculo em torno do eixo y

Comprimentos da Barra (cm)

: os comprimentos deverão ser declarados pelo usuário.

Comprimentos da Barra (cm)					
$K_x L_x$	<input type="text"/>	$K_t L_t$	<input type="text"/>	λ_x	<input type="text"/>
$K_y L_y$	<input type="text"/>	L_b	<input type="text"/>	λ_y	<input type="text"/>

Comprimento efetivo de flambagem por flexão em torno do eixo x

Comprimento efetivo de flambagem por flexão em torno do eixo y

Comprimento destravado.

Comprimento efetivo de flambagem por torção

Esbeltez das barras, em relação aos comprimentos x e y. Estes campos estarão sempre desabilitados, pois o programa calcula automaticamente através dos comprimentos de flambagem e os raios de giração.

Travejamento habilitado para perfis compostos.

SELEÇÃO DO TIPO DE AÇO: quando acionado o botão **Selecionar** abrirá uma janela com uma lista de aços a serem escolhidos:

Tabela de Aços

Aço	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Espessuras Disponíveis (mm)	Características
ASTM A36	250	400	2,0 - 150	Estrutural
ASTM A570 GR36	250	365	2,0 - 5,84	Estrutural
COS-AR-COR 400	250	380	2,0 - 100	Aço Patinável
A572-GR42	290	415	19 - 19	Estrutural
COS-CIVIL 300	300	400	150 - 150	Estrutural Especial
USI-SAC-300	300	400	12,7 - 12,7	Aço Patinável
COS-AR-COR 400 E	300	380	12,7 - 12,7	Aço Patinável
CSN-COR 420	300	420	6,3 - 6,3	Aço Patinável
COS-CIVIL 350	350	490	50,8 - 50,8	Estrutural Especial
ASTM A570 GR50	345	450	5,84 - 5,84	Estrutural
USI-SAC-350	350	485	12,7 - 12,7	Aço Patinável
A588	345	485	19 - 19	Estrutural
USI-LN 380	380	490	12,7 - 12,7	Estrutural Especial
COS-AR-COR 500	375	490	50,8 - 50,8	Aço Patinável
USER	-	-	-	Definido pelo usuário

f_y 250 f_u 400

OK Cancelar

Seleciona-se o tipo de aço para obter as tensões f_y e f_u .

Caso o usuário queira editar valores para f_y e f_u basta preenchê-los nos respectivos campos. Observando que deverão ser declarados valores em unidades de MPa.

Na janela do programa ficarão exibidos o aço que foi selecionado e as tensões de escoamento e ruptura do aço.

Aço

f_y MPa f_u MPa

FATORES DE MODIFICAÇÃO DO MOMENTO: para determinar o momento fletor resistente de cálculo para o estado limite de flambagem lateral com torção (FLT) deverão ser declarados os fatores de modificação do momento, usualmente, estes fatores são tomados com o valor 1,00 sendo que o usuário poderá editá-los.

1
 1
 1

Quando forem selecionados perfis laminados ou soldados, deverá ser determinado apenas o coeficiente C_b , editando o valor neste campo ou clicando neste botão aparecerá uma janela para que sejam declarados os momentos solicitantes necessários para o cálculo do fator C_b :

Momento máximo solicitante de cálculo, em módulo, no comprimento L_b .

Momento máximo solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a um quarto do comprimento destravado.

Momento máximo solicitante de cálculo, em módulo, na seção central do comprimento destravado.

Momento máximo solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a três quartos do comprimento destravado.

Para elementos de viga-coluna e perfis formados a frio, será necessário determinar, adicionalmente, os coeficientes C_{mx} e C_{my} , que são os coeficientes de equivalência de momento da flexão composta, em relação aos eixos x e y.

1
 1

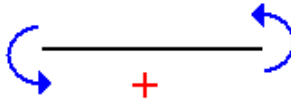
Clicando neste botão abrirá uma janela para que sejam determinados estes coeficientes:

Quando for selecionado este tipo de barra, os momentos M_1 e M_2 deverão ser informados.

Os momentos com o índice 1 subscrito referem-se ao menor momento em módulo e o índice 2 indica o maior momento.

Valores dos coeficientes calculados

A relação (M_1/M_2) será positiva quando os momentos provocarem curvatura reversa.



A relação (M_1/M_2) será negativa quando os momentos provocarem curvatura simples.



Quando for selecionado este tipo de barra, os valores dos coeficientes vão variar de acordo com a fixação das extremidades.

Para barras com as extremidades engastadas os coeficientes serão 0,85. Caso contrário serão 1,00.

Barras de estrutura deslocável os coeficientes serão sempre 1,00

Selecionar quando o usuário quiser editar os valores dos coeficientes.

RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO: após serem fornecidos todos os dados da janela principal do **mCalcPerfis**, basta clicar em **Calcular** quando serão exibidas as respostas do programa:

Relação solicitação/resistência

- $N_{c,Rd}$: Força normal resistente de cálculo à compressão
- $N_{t,Rd}$: Força normal resistente de cálculo à tração
- $M_{x,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo em torno do eixo x
- $V_{x,Rd}$: Força cortante resistente de cálculo em x
- $V_{y,Rd}$: Força cortante resistente de cálculo em y
- $M_{y,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo em torno do eixo y

Na janela principal do programa, após o cálculo, também poderão ser visualizadas as equações de interação que vão ser diferentes dependendo do tipo de perfil selecionado.

Resistências de Cálculo					
$N_{c,Rd}$	22721,6	Sd/Rd = 0,22	$V_{x,Rd}$	8561,45	Sd/Rd = 0,584
$N_{t,Rd}$	27360	Sd/Rd = 0,11	$V_{y,Rd}$	3298,91	Sd/Rd = 0,303
$M_{x,Rd}$	118216,17	Sd/Rd = 0,085	$M_{y,Rd}$	20623,04	Sd/Rd = 0,272

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{C_{mx} \cdot M_{xSd}}{M_{xRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ex}}\right)} + \frac{C_{my} \cdot M_{ySd}}{M_{yRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ey}}\right)} = 0,538$$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,539$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,466$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,247$$

Equações de interação para perfis formados a frio

Resistências de Cálculo					
$N_{c,Rd}$	17363,84	Sd/Rd = 0,288	$V_{x,Rd}$	9600,79	Sd/Rd = 0,125
$N_{t,Rd}$	31136,36	Sd/Rd = 0,225	$V_{y,Rd}$	8938,64	Sd/Rd = 0,145
$M_{x,Rd}$	97049,5	Sd/Rd = 0,113	$M_{y,Rd}$	14701,7	Sd/Rd = 0,612

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,87$$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,933$$

Equações de interação para perfis laminados ou soldados



: clicando em ARQUIVO, na janela principal do programa, abrirão opções para abrir, salvar e sair do **CalcPerfis**.

Relatório

: o botão do relatório poderá ser acionado após os cálculos serem efetuados. Neste estarão discriminadas as equações principais utilizadas para a determinação de cada força ou momento resistente de cálculo.

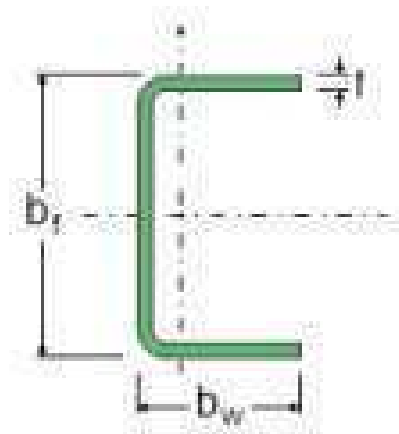
Constam, ainda no relatório, os dados no cabeçalho que foram preenchidos nas configurações do **mCalcPerfis**, além da data e hora que o arquivo foi gerado.

Para salvar o relatório em padrão RTF basta clicar em ARQUIVO e SALVAR, indicando o local.

CAPÍTULO 2.



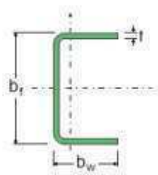
mCalcPerfis – PERFIS FORMADOS A FRIO



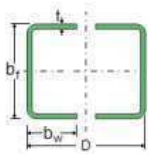
CAPÍTULO 2. CalcPerfis - PERFIS FORMADOS A FRIO

A verificação dos perfis formados a frio será baseada nos procedimentos prescritos pela NBR 14762:2010.

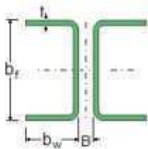
Estão disponíveis no  CalcPerfis 19 perfis formados a frio:



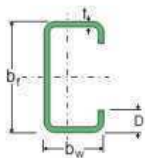
U formado a frio



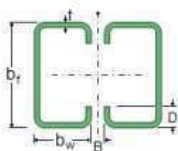
2 U (FF) opostos pelas mesas



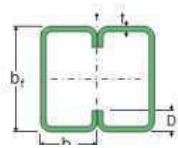
2 U(FF) opostos pelas almas



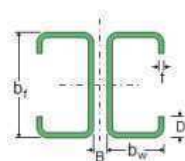
U formado a frio enrijecido



2 U (FF) enrijecidos



Caixa (FF)

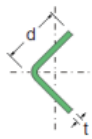


I (FF) enrijecido





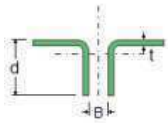
Box (FF)



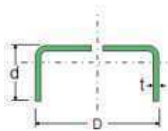
Cantoneira (FF)



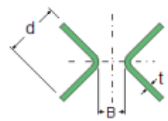
Cantoneira (FF)



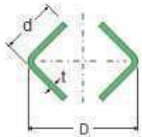
2 Cantoneiras (FF) opostas pelas abas



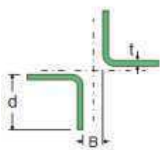
2 Cantoneiras (FF) opostas pelas mesas



2 Cantoneiras (FF) opostas pelos vértices



2 Cantoneiras (FF) em caixa

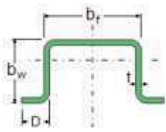


2 Cantoneiras (FF) em cruz

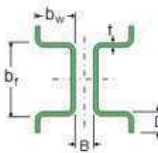




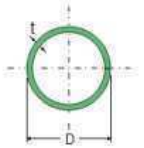
2 Cantoneiras (FF) em Z



Cartola (FF)



I cartola (FF)



Tubo circular (FF)

2.1. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE PERFIS FORMADOS A FRIO

Para o cálculo da força resistente de tração o **CalcPerfis** toma o menor valor entre:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10) \quad \text{e} \quad N_{t,Rd} = \frac{A_{n0} \cdot f_u}{\gamma} \quad (\gamma = 1,35)$$

Onde:

A: é a área bruta da seção transversal, calculada pelo **CalcPerfis** quando o perfil é selecionado;

A_{n0} : é a área líquida da seção transversal;

f_y : resistência ao escoamento do aço;

f_u : resistência à ruptura do aço na tração;

A_{n0} é considerado pelo **CalcPerfis** como sendo a área líquida da barra, ou seja, o usuário deverá entrar com uma porcentagem em relação à área bruta da seção transversal da barra. Isto deverá ser declarado nas configurações no índice *Unidades e Coeficientes*, devendo estar ser declarada antes de acionar o botão calcular.



O resultado da resistência à tração será exibido na janela principal do **CalcPerfis**, após ter sido acionado o botão **Calcular**, ou então, poderá ser visualizada de forma detalhada clicando em **Relatório**. No relatório serão exibidas além da resistência, a relação entre a solicitação e a resistência calculada. Alertando ao usuário quando a solicitação é maior que a resistência.

2.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PERFIS FORMADOS A FRIO

A força normal resistente de cálculo à compressão será calculada pelo **CalcPerfis** e será adotado o menor valor entre:

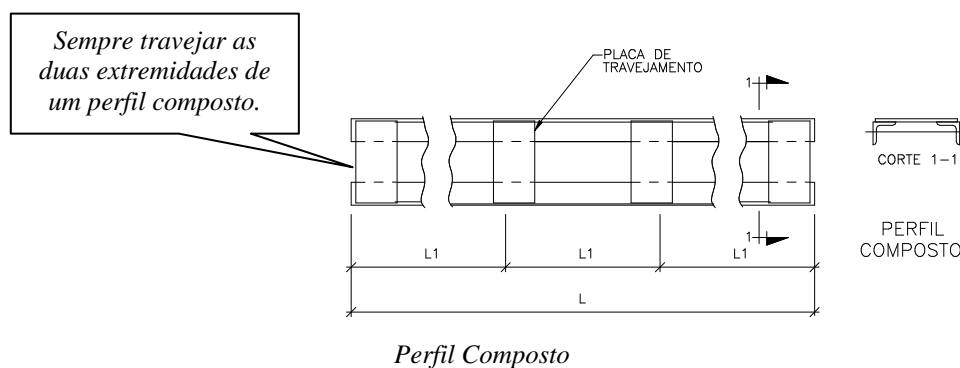
$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,20) \quad \text{Resistência de cálculo devido a flambagem global}$$

e

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{ef} \cdot f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,20) \quad \text{Resistência de cálculo devido a flambagem local}$$

2.2.1. Perfis compostos

Fazem-se, nesse momento, alguns comentários sobre os perfis compostos porque eles merecem uma especial atenção, já que são perfis eficientes, muito utilizados, e que se usados de maneira inadequada podem trazer problemas. Dois ou mais perfis, unidos entre si por meio de uma ligação não contínua - solda ou travejamento em quadro ou em treliça - que trabalham como se fossem um só perfil são conhecidos por *Perfis Compostos*.



Para a determinação da resistência de cálculo dos perfis compostos devem-se verificar:

a) Flambagem do perfil isolado:

O perfil isolado - um dos perfis que formam o perfil composto - flamba, em torno do seu eixo de menor inércia, tendo como comprimento de flambagem a distância entre elementos de travejamento “ L_I ”.

No caso do perfil isolado, deve-se considerar, também, a flambagem local da maior parede não enrijecida. A resistência final de cálculo será a menor: entre a flambagem global do perfil isolado e a flambagem local de uma de suas paredes.

b) Flambagem global do perfil composto:

O perfil composto criado terá 2 eixos principais de inércia. Um dos eixos será paralelo ao(s) plano(s) de travejamento e o outro eixo perpendicular.

É costume compor-se os perfis de tal maneira que se traveje planos paralelos ao eixo de maior inércia. Assim será obtido um perfil com inércia bem aumentada em torno do eixo paralelo ao de menor inércia dos perfis simples.

A inércia desse perfil, em torno do eixo paralelo aos planos de travejamento, será determinada somando as inércias de cada perfil isoladamente. (É claro que é caso de simples soma se o eixo principal da composição coincidir com o eixo principal do perfil isolado; caso contrário se deverá obter a inércia da composição pelo Teorema de *Steiner*.)

A inércia do perfil composto em torno do outro eixo principal, perpendicular ao plano de travejamento, terá um valor intermediário entre a inércia que se calcula pelo Teorema de *Steiner* e a que se avalia considerando os dois perfis isolados.

Os elementos de travejamento, por serem descontínuos, não oferecem uma união tão eficiente como uma ligação contínua entre os perfis, e essa deficiência deve ser considerada na avaliação dessa inércia ou esbeltez como orientam as normas.

Adota-se o procedimento da norma NB14/68 (ABNT, 1968) que é uma adaptação da norma DIN4114 (Deutsche Industrie Normen, 1952), considerando-se somente o caso de travejamento em quadro.

Supondo-se que o eixo perpendicular aos plano de travejamento seja o eixo Y a esbeltez final será uma esbeltez ideal λ_{y_i} .

$$\lambda_{y_i} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2}\lambda_1^2}$$

onde

$$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y} \quad \text{esbeltez do perfil composto em torno do eixo perpendicular ao}$$

plano de travejamento, considerando-se a inércia *cheia* em torno desse eixo;



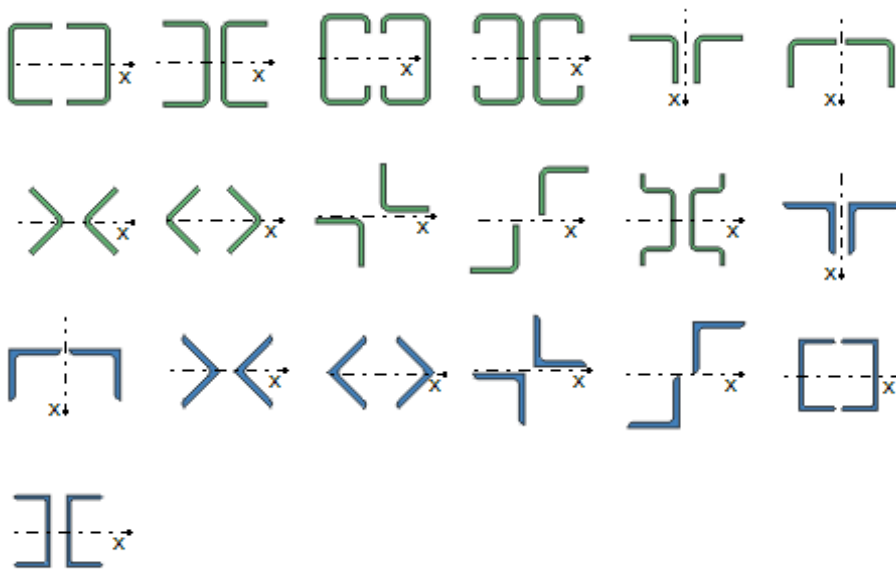
$$\lambda_1 = \frac{K_1 L_1}{r_1}$$

esbeltez do perfil simples em torno do eixo de menor inércia (eixo I)
 sendo L_1 a distância entre placas de travejamento e
 m = número de perfis simples que formam o perfil composto.

Por orientação da norma DIN 4114 (Deutsche Industrie Normen, 1952), deve-se dispor os elementos de travejamento, pelo menos, nos terços do perfil composto. Essa recomendação foi implementada no programa, forçando o usuário declarar, no mínimo travejamento a cada $L/3$.

Outra recomendação da DIN 4114 é a de afastar as placas de travejamento, L_1 , em distâncias menores que $50 r_{min}$ é oferecida ao usuário, embora essa recomendação possa ser negligenciada.

O **CalcPerfis** tem implementado as rotinas para a verificação de *Perfis Compostos*, descritas acima e disponibiliza para os perfis que seguem (inclusive valendo para perfis soldados/laminados):



Quando for selecionado um *Perfil Composto* deve-se informar ao programa a cada quanto se quer travejar, ou em quantas partes vai se dividir a barra. Assim o comprimento L_1 , que é o comprimento de flambagem da barra isolada ou a distância entre travejamentos ficará definida por L/XX .

Por *default* o travejamento das barras é adotado como a cada $L/3$.

Travej. L/

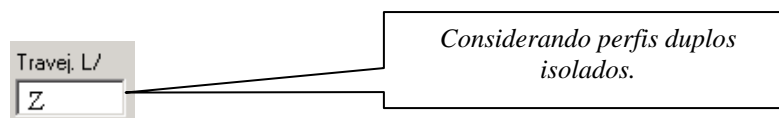
Este campo estará habilitado sempre que for selecionado um perfil composto.



Para barras com comprimento pequeno, ou em barras só tracionadas é interessante adotá-las com perfis duplos, porém não travejados entre si, ou seja: perfis duplos isolados.

Para esses casos a resistência de cálculo será calculada como o dobro da resistência de cálculo de uma barra isolada, com o comprimento de flambagem igual à distância entre os dois nós que formam a barra.

A maneira de se usar *Perfis Duplos Isolados* é a mesma adotada para *Perfis Compostos*: selecionam-se as barras a dimensionar, abre-se a janela de diálogo, escolhe-se o perfil duplo e digita-se Z (de Zero) ao se informar o travejamento. Assim o programa interpretará que os perfis NÃO serão travejados, configurando 2 perfis duplos isolados.



2.2.2. Procedimentos de cálculo

A partir dos dados geométricos e dos comprimentos de flambagem inseridos pelo usuário, o **CalcPerfis** vai iniciar o cálculo da resistência a compressão obtendo a força normal de flambagem elástica da barra (N_e).

A área efetiva é obtida de acordo com formulário de procedimentos da NBR 14762:2010, considerando os tipos de paredes em cada perfil, paredes AA (apoiada-apoiada) e paredes AL (apoiada-livre).

A área efetiva encontrada para a resistência de cálculo devida à flambagem global se diferencia da área efetiva da resistência de cálculo devida à flambagem local pela não presença, nesta última, do fator de redução associado à flambagem (χ).

A curva de flambagem para o cálculo dos parâmetros do cálculo da resistência à compressão é dada automaticamente quando o usuário seleciona a seção e o programa calcula a força normal de flambagem elástica.

O valor da força normal resistente de cálculo poderá ser vista na janela principal do programa ou no relatório de forma detalhada com a exibição dos fatores além da relação solicitação/resistência.

2.3. RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE PERFIS FORMADOS A FRIO

Serão determinados os momentos resistentes em torno dos eixos x e y.
A resistência à flexão nos perfis formados a frio será dada pelo menor valor entre:

- Momento resistente de cálculo para o início do escoamento da seção efetiva

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10)$$

- Momento resistente de cálculo para o a flambagem lateral com torção

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{C,ef} \cdot f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10)$$

2.3.1. Momento resistente no Início do Escoamento da Seção Efetiva

Para determinar o momento resistente o passo principal é determinar o módulo resistente da seção efetiva (W_{ef}).

O procedimento empregado para determinar este cálculo é baseado na avaliação de cada componente do perfil que situa-se acima da linha neutra.

O cálculo da largura efetiva parte na tensão $\sigma = f_y$.

Para cada um destes elementos é avaliada sua largura efetiva e assim é determinado um comprimento a retirar:

$$l_{ret} = b - b_{ef}$$

A cada comprimento retirado, a área vai sendo reduzida e a linha neutra vai sendo rebaixada.

Compõe-se desta forma uma inércia efetiva dada pela inércia inicial do perfil reduzida da inércia dos comprimentos retirados.

$$I_{ef} = I - I_{ret}$$

Aplicando o *Teorema de Steiner*, encontra-se a inércia em relação ao novo eixo baricêntrico.

$$I_{Gef} = I_{ef} - A_{ef} \cdot y^2$$

Onde:

A_{ef} : é a área efetiva da seção após a redução dos comprimentos a retirar;

y : é o rebaixamento total da linha neutra;

y_{max} : é a posição final da linha neutra.



Com estes dados é possível determinar o W_{ef} da seção:

$$W_{ef} = \frac{I_{Gef}}{y_{máx}}$$

2.3.2. Momento resistente no estado limite da Flambagem Lateral com Torção

Para este estado limite, o procedimento de cálculo é análogo ao anterior, diferenciando-se pela presença do fator de redução ρ_{FLT} .

Para determinar o fator de redução ρ_{FLT} será necessário obter o momento crítico elástico M_e , que vai depender da seção do perfil selecionado:

Para Perfis U e I: $M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ez}}$

Para Perfis Z: $M_e = 0,5C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ez}}$

Para perfis fechados (caixão): $M_e = C_b \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot G \cdot J}$

O procedimento para cálculo do módulo resistente da seção efetiva é o mesmo do item anterior.

Exceto que, o cálculo da largura efetiva partirá da tensão: $\sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y$

2.4. RESISTÊNCIA AO ESFORÇO CORTANTE

Serão determinadas as forças cortantes resistentes de cálculo em torno dos eixos x e y.

A expressão empregada para obter esta resistência vai depender da relação h/t:

h: é a largura perpendicular ao eixo no qual está sendo calculada a resistência;

t: é a espessura do elemento;

k_v : adotado como 5,0.

Se $\frac{h}{t} \leq 1,08 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{f_y}}$ então a resistência será $V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot f_y \cdot h \cdot t}{\gamma}$ ($\gamma = 1,10$)

Se $1,08 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{f_y}} < \frac{h}{t} \leq 1,40 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{f_y}}$ então a resistência será:



$$V_{Rd} = \frac{0,65 \cdot t^2 \cdot 1,08 \cdot \sqrt{E \cdot k_v \cdot f_y}}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10)$$

Se $\frac{h}{t} > 1,40 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{f_y}}$ então a resistência será:

$$V_{Rd} = \frac{(0,905 \cdot E \cdot k_v \cdot t^3)/h}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10)$$

O resultado da resistência ao corte será exibido na janela principal do **CalcPerfis**, após ter sido acionado o botão , ou então, poderá ser visualizada de forma detalhada clicando em .

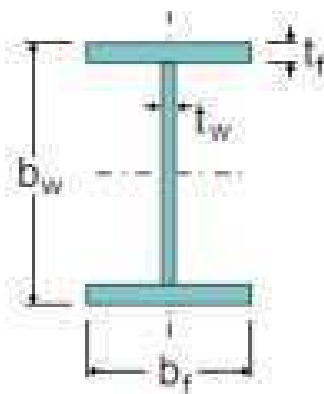
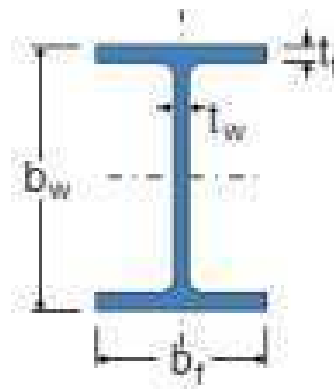
No relatório serão exibidas além da resistência, a relação entre a sollicitação e a resistência calculada. Alertando ao usuário quando a sollicitação é maior que a resistência.



CAPÍTULO 3.




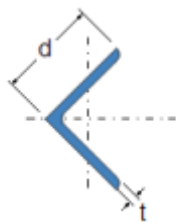
mCalcPerfis – PERFIS LAMINADOS/SOLDADOS



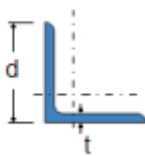
CAPÍTULO 3. **CalcPerfis - PERFIS LAMINADOS/SOLDADOS**

O dimensionamento dos perfis vai ser dado de acordo com a norma a qual ele se adequou. No caso de selecionar perfis laminados ou soldados, será baseado nos procedimentos de cálculo da revisão da NBR 8800:2008.

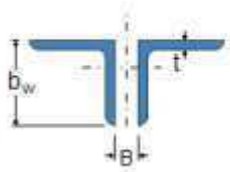
Estão disponíveis no  **CalcPerfis** 23 perfis entre laminados e soldados:



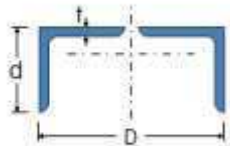
Cantoneira laminada



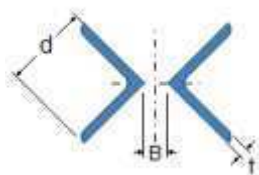
Cantoneira laminada



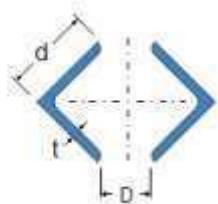
2 (2LLM) Cantoneiras laminadas opostas pelas abas



2 (LLLM) Cantoneiras laminadas opostas pelas mesas



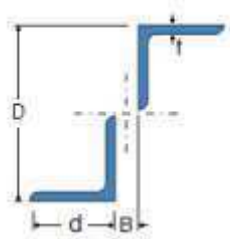
2 (VVLM) Cantoneiras laminadas opostas pelos vértices



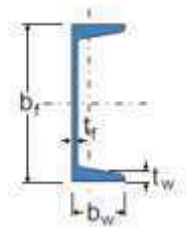
2 (LVLM) Cantoneiras laminadas em caixa



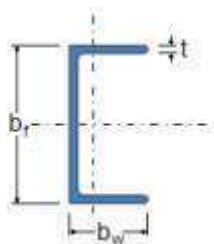
2 (LXLM) Cantoneiras laminadas em cruz



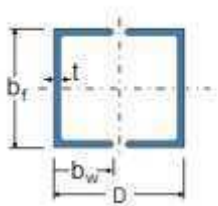
2 (LXLM) Cantoneiras laminadas em Z



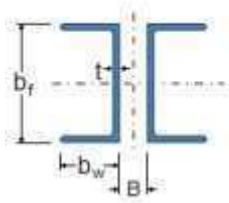
U laminado (ULAM)



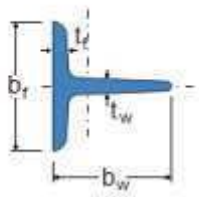
U laminado de abas paralelas (UAP)



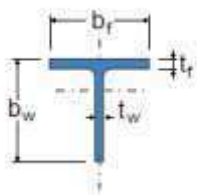
2U laminado de abas paralelas opostos pelas mesas



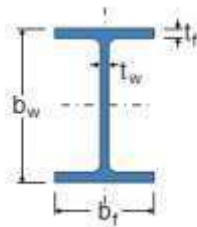
2 U laminado de abas paralelas opostos pelas almas



Tee laminado (TEE)



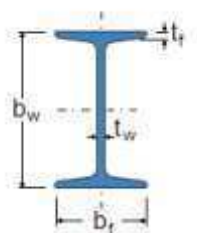
Tee laminado-metade do açominas (TW)



I laminado (ILAM)

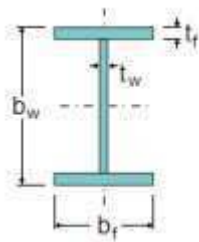


Redondo (RED)

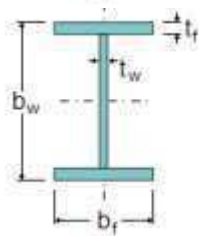


I açominas (W)

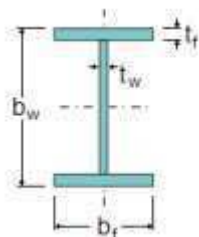




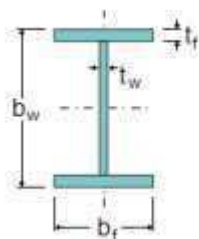
I soldado (PS)



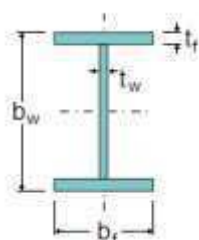
I coluna soldada (CS)



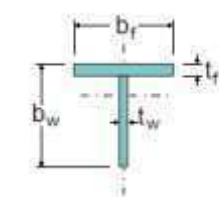
I viga soldada (VS)



I viga eletro-soldada (VSE)



I coluna-viga soldada (CVS)



T soldado (TS)



3.1. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERFIS SOLDADOS/LAMINADOS

Para o cálculo da força axial resistente de tração o **CalcPerfis** toma o menor valor entre:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\gamma_{a1} = 1,10) \text{ para o escoamento da seção bruta}$$

e

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{a2}} \quad (\gamma_{a2} = 1,35) \text{ para ruptura da seção líquida}$$

Onde:

A_g : é a área bruta da seção transversal;

f_y : resistência ao escoamento do aço;

f_u : resistência à ruptura do aço na tração;

A_e área efetiva da barra (A_e) é configurada no **CalcPerfis** pelo fator $C_t \cdot A_g$. O usuário deverá entrar com uma porcentagem em relação à área bruta da seção transversal da barra. Isto deverá ser declarado em configurações no índice *Unidades e Coeficientes*, devendo está ser declarada antes de acionar o botão calcular.

O resultado da resistência à tração será exibido na janela principal do **CalcPerfis**, após ter sido acionado o botão , ou então, poderá ser visualizada de forma detalhada clicando em .

No relatório serão exibidas além da resistência, a relação entre a solicitação e a resistência calculada. Alertando ao usuário quando a solicitação é maior que a resistência.

3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PERFIS SOLDADOS/LAMINADOS

A força axial resistente de cálculo à compressão será calculada pelo **CalcPerfis** através da expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\gamma_{a1} = 1,10)$$

χ : é o fator de redução associado à resistência à compressão;

Q : é o fator de redução associado à instabilidade local;

A_g : área bruta da seção transversal da barra.



A partir dos dados geométricos e dos comprimentos de flambagem inseridos pelo usuário, o **mCalcPerfis** vai iniciar o cálculo da resistência a compressão obtendo a força axial de instabilidade elástica da barra (N_e).

O índice de esbeltez reduzido é dado por: $\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$

O fator de redução associado à resistência a compressão χ é dado por:

$$\text{Para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$\text{Para } \lambda_0 \geq 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

O valor da força axial resistente de cálculo poderá ser vista na janela principal do programa ou no relatório de forma detalhada com a exibição dos fatores além da relação solicitação/resistência.

Ressalta-se que o critério para perfis compostos segue os mesmos princípios dos perfis formados a frio, conforme exposto no item 2.2.1 do capítulo 2.

3.3. RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE PERFIS SOLDADOS/LAMINADOS

O momento fletor resistente de cálculo vai ser obtido de acordo com a seção escolhida e com o eixo em torno do qual está sendo avaliado.

Será calculado com base em três estados limites: flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa (FLM) e flambagem local da alma (FLA).

São determinadas três parâmetros de esbeltez, λ é a esbeltez do elemento avaliado, λ_p é o parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação e λ_r é o parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

$$\text{Se } \lambda \leq \lambda_p \text{ então } M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (\gamma_{a1} = 1,10)$$

$$\text{Se } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então } M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \text{ somente para FLT}$$

$$\text{Se } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então } M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \text{ para FLM e FLA}$$



$$\text{Se } \lambda > \lambda_r \text{ então } M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \quad (\gamma_{a1} = 1,10)$$

O momento fletor resistente será dado pelo menor valor entre os momentos resistentes de cada estado limite.

3.4. RESISTÊNCIA AO ESFORÇO CORTANTE DE PERFIS SOLDADOS/LAMINADOS

Serão determinadas as forças cortantes resistentes de cálculo em torno dos eixos x e y.

A expressão empregada para obter esta resistência vai depender da relação h/t_w :

h : é a largura perpendicular ao eixo no qual está sendo calculada a resistência;

t_w : é a espessura do elemento.

k_v : adotado como 5,00.

Parâmetros de esbeltez:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad \lambda = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} \quad \lambda = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\text{Se } \lambda \leq \lambda_p \text{ então a resistência será } V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (\gamma_{a1} = 1,10)$$

$$\text{Se } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então a resistência será } V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (\gamma_{a1} = 1,10)$$

$$\text{Se } \lambda > \lambda_r \text{ então a resistência será } V_{Rd} = 1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (\gamma_{a1} = 1,10)$$

$$\text{Sendo } V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y$$

A_w : área efetiva de cisalhamento.

O resultado da resistência ao corte será exibido na janela principal do **CalcPerfis**, após ter sido acionado o botão , ou então, poderá ser visualizada de forma detalhada clicando em .

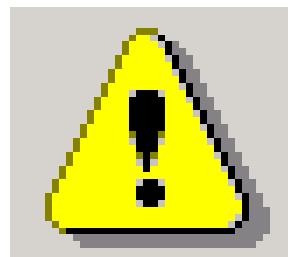
No relatório serão exibidas além da resistência, a relação entre a sollicitação e a resistência calculada. Alertando ao usuário quando a sollicitação é maior que a resistência.



CAPÍTULO 4.



mCalcPerfis – MENSAGENS E ALERTAS

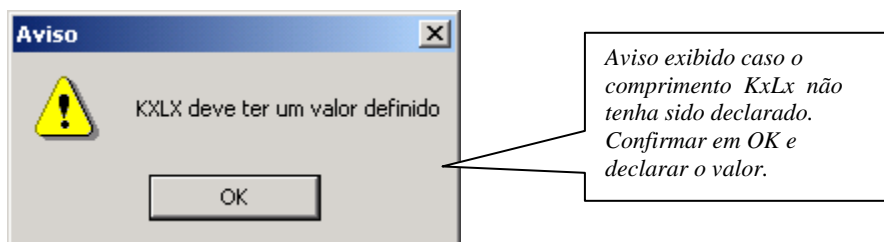


CAPÍTULO 4. mCalcPerfis – MENSAGENS E ALERTAS

Ao decorrer do uso do mCalcPerfis poderão ser exibidos alguns avisos ao usuário para alertá-lo de que algum valor foi declarado de forma errônea ou que falta declarar algum dado.

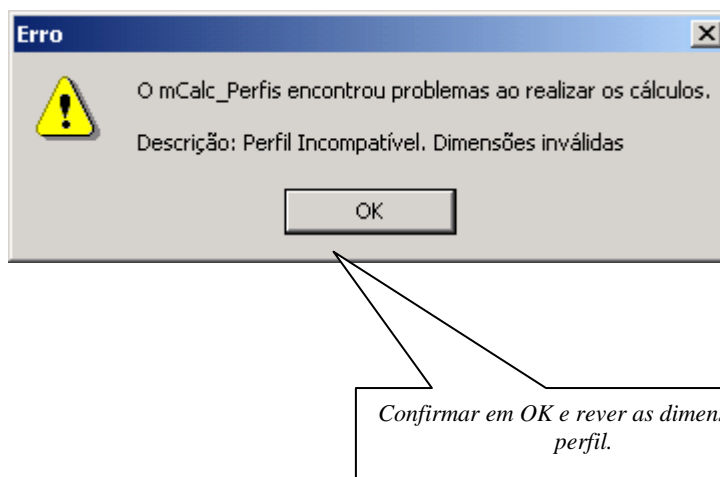
4.1. MENSAGENS EXIBIDAS POR FALTA DE DADOS DECLARADOS

Caso o usuário não declare algum dado necessário para efetuar o dimensionamento do perfil, o mCalcPerfis exibirá um aviso logo que for acionado o botão CALCULAR.



Um aviso similar será exibido para os casos de não serem declarados os comprimentos KyLy, KtLt e Lb.

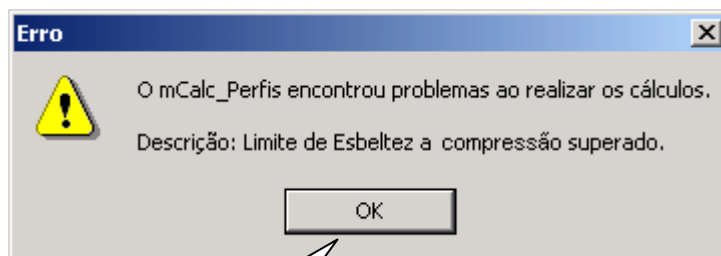
A mensagem a seguir, será exibida se o usuário não selecionar o perfil de forma correta, caso ele esteja nos perfis favoritos, ou então, caso seja um perfil de dimensões editáveis:



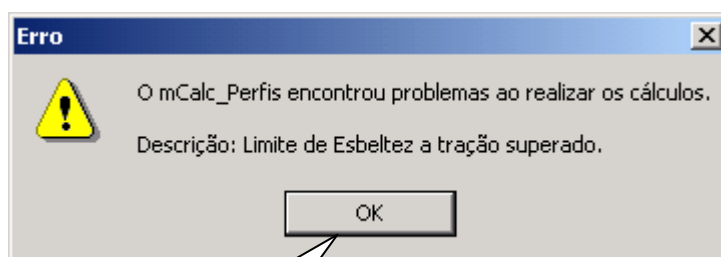
4.2. ALERTAS EM RELAÇÃO A ESBELTEZ

Nas configurações tem dois campos para estabelecer os limites de esbeltez em relação à tração e à compressão.

Caso estes limites forem ultrapassados, então a mensagem será exibida.



Confirmar em OK e rever e reforçar o perfil. Outra alternativa é editar a elbeltez limite para a compressão em configurações.



Confirmar em OK e rever e reforçar o perfil. Outra alternativa é editar a elbeltez limite para a tração em configurações.

