



Version
dezembro 2014

Módulo adicional

RF-STEEL EC3

Estado limite último, estado limite de utilização, Resistência ao fogo e Análises de estabilidade de acordo com o Eurocódigo 3

Descrição do programa

All rights, including those of translations, are reserved.

No portion of this book may be reproduced – mechanically, electronically, or by any other means, including photocopying – without written permission of DLUBAL SOFTWARE, INC.



© Dlubal Software GmbH 2016
Am Zellweg 2
D-93464 Tiefenbach
Germany

Tel.: +49 9673 9203-0
Fax: +49 9673 9203-51
E-mail: info@dlubal.com
Web: www.dlubal.com



Conteúdo

	Conteúdo	Page
1.	Introdução	3
1.1	Módulo adicional RF-STEEL EC3	3
1.2	Utilização do manual	4
1.3	Abrir o módulo adicional RF-STEEL EC3	4
2.	Dados de entrada	6
2.1	Dados gerais	6
2.1.1	Estado limite de utilização	8
2.1.2	Estado limite de utilização	10
2.1.3	Resistência ao fogo	11
2.1.4	Anexo Nacional (AN)	11
2.2	Materiais	16
2.3	Seções	18
2.4	Restrições laterais intermédias	22
2.5	Comprimento efetivo - Barras	23
2.6	Comprimento efetivo - Conjunto de barras	26
2.7	Apoios nodais - Conjunto de barras	28
2.8	Articulação de barra - Conjunto de barras	32
2.9	Dados do estado limite de utilização	33
2.10	Resistência ao fogo - Barras	34
2.11	Resistência ao fogo - Conjuntos de barras	35
2.12	Parâmetros - Barras	36
2.13	Parâmetros - Conjuntos de barras	43
3.	Cálculo	44
3.1	Configuração detalhada	44
3.1.1	Estado limite último	44
3.1.2	Estabilidade	46
3.1.3	Estado limite de utilização	48
3.1.4	Resistência ao fogo	49
3.1.5	Outro	51
3.2	Iniciar cálculo	52
4.	Resultados	54
4.1	Dimensionamento por caso de carga	55
4.2	Dimensionamento por secção	56
4.3	Dimensionamento por conjunto de barra	57
4.4	Dimensionamento por barra	58
4.5	Dimensionamento por posição x	59
4.6	Esforços internos principais por barra	60
4.7	Esforços internos determinantes por conjunto de barras	61
4.8	Esbelteza da barra	62
4.9	Lista de partes por barra	63
4.10	Lista de partes por conjunto de barras	64
5.	Avaliação de resultados	66
5.1	Resultados no modelo RFEM	67
5.2	Diagramas de resultados	71
5.3	Filtro para os resultados	72
6.	Impressão	74



6.1	Relatório de impressão	74
6.2	Impressão gráfica	75
7.	Funções gerais	77
7.1	Casos de dimensionamento	77
7.2	Otimização da secção	79
7.3	Unidades e casas decimais	81
7.4	Transferência de dados	82
7.4.1	Exportar materiais para o RFEM	82
7.4.2	Exportar comprimentos efetivos para o RFEM	82
7.4.3	Exportar resultados	82
8.	Exemplos	85
8.1	Estabilidade	85
8.2	Resistência ao fogo	93

1 Introdução

1.1 Módulo adicional RF-STEEL EC3



O Eurocódigo 3 [1] descreve o dimensionamento, a análise e a construção de estruturas de aço em todos os estados membros da União Europeia. Com o módulo adicional RF-STEEL EC3 do RFEM, DLUBAL providencia uma poderosa ferramenta para o dimensionamento de estruturas em aço modeladas com elementos de barra. As regulamentações específicas do país são tidas em conta pelos anexos nacionais (AN). Para além dos parâmetros incluídos no programa, pode definir os seus próprios valores limite ou criar novos Anexos Nacionais.

O RF-STEEL EC3 pode realizar todas as típicas verificações do estado limite último, bem como as análises de estabilidade de deformação. O programa tem em consideração diversas ações para a verificação do estado limite último. É possível escolher entre fórmulas de interação mencionadas na norma. Uma parte essencial das análises de acordo com o Eurocódigo 3 é a classificação da seção dimensionada nas Classes 1 a 4. Desta forma, pode verificar a limitação do dimensionamento capacidade de rotação através da encurvadura local das partes da seção. O RF-STEEL EC3 determina a relação c/t das partes da secção submetidos às tensões de compressão e realiza automaticamente a classificação.

Para a análise de estabilidade pode decidir para cada barra ou conjunto de barras se a encurvadura por flexão ocorre na direção y - e/ou z . Além disso, pode definir restrições laterais adicionais de forma a representar o modelo o mais próximo da realidade possível. Além disso, o efeito de estabilização das madres e chapas pode ser tido em conta para as restrições de rotação e painéis de corte. O RF-STEEL EC3 determina a relação de esbelteza e a carga de encurvadura elástica crítica com base nas condições de fronteira. O momento elástico crítico para a encurvadura por flexão-torção necessária para a análise da encurvadura por flexão-torção pode ser determinado automaticamente ou especificado manualmente. Existe um ponto de aplicação da carga das cargas transversais consideradas, afetando de forma considerável a resistência à torção.

O RF-STEEL EC3 também pode realizar a verificação da resistência ao fogo de acordo com a norma EN 1993-1-2 [2]. A verificação é realizada ao nível da capacidade de resistência de acordo com o método de cálculo simplificado. Como a proteção contra o fogo, pode selecionar o revestimento com várias propriedades físicas.

Para estruturas com seções delgadas, o estado limite de utilização representa uma importante verificação. Os casos de carga, combinações de carga e combinações de resultados podem ser atribuídos a diferentes situações de dimensionamento. As deformações limites são predefinidas pelos Anexos Nacionais e podem ser ajustadas, se necessário. Também é possível especificar comprimentos de referência para contra flechas que são consideradas em concordância com o dimensionamento.

O RF-STEEL EC3 também permite o dimensionamento de componentes estruturais feitos em aço inoxidável de acordo com a norma EN 1993-1-4 [3].

O programa permite-lhe otimizar as seções, se necessário, e depois exporta as seções alteradas para o RFEM. Utilizando os casos dimensionamento, pode dimensionar os componentes estruturais separadamente em estruturas complexas ou analisar variantes.

Desde que o RF-STEEL EC3 se encontra integrado no programa principal RFEM, a verificação dos dados de entrada relevantes já se encontra disponível quando abre o módulo. Após o cálculo, pode avaliar os cálculos graficamente na janela de trabalho do RFEM. Por último mas não menos importante, é possível cobrir todo o processo de análise no relatório de impressão global, desde a determinação dos esforços internos até aos resultados do dimensionamento.

Esperamos que desfrute ao trabalhar com o RF-STEEL EC3.

A sua equipa DLUBAL

1.2 Utilização do manual

Os tópicos como a instalação , interface gráfica do utilizador, avaliação de resultados e impressão estão descritos em detalhe no manual do programa principal RFEM. O presente manual foca-se nas características típicas do módulo adicional RF-STEEL EC3.



As descrições neste manual seguem a sequência e estrutura das janelas dos dados de entrada e dos resultados do módulo. No texto, os **botões** descritos são representados em parêntesis retos, por exemplo [Modo de visualização]. Ao mesmo tempo, os mesmo são apresentados à esquerda. As expressões que aparecem nas caixas de diálogos , tabelas e menus estão definidas em *itálico* para clarificar as explicações .

No final do manual pode encontrar o índice. Contudo, senão encontrar o que procura por favor verifique no nosso www.dlubal.com/pt onde pode passar pelas nossas páginas *FAQ* , onde pode seleccionar um critério em particular .

1.3 Abrir o módulo adicional RF-STEEL EC3

O RFEM contém as seguintes opções para iniciar o módulo adicional RF-STEEL EC3 .

Menu

Para abrir o programa a partir do menu de barra do RFEM, clique

Módulos adicionais → **Dimensionamento - Aço** → **RF-STEEL EC3**.

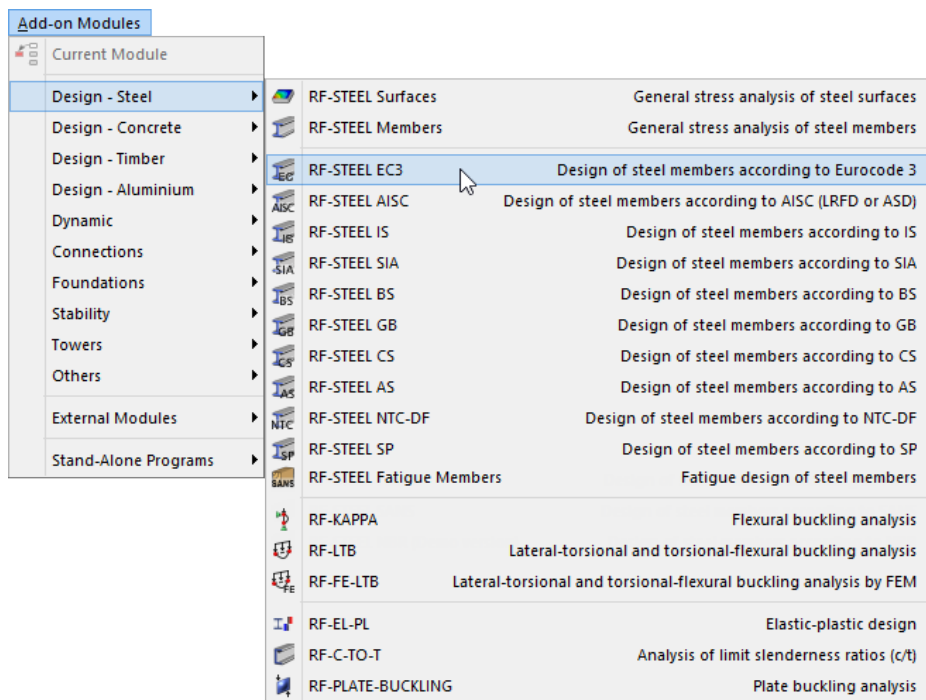


Figura 1.1: Menu: *Módulos adicionais* → *Dimensionamento- Aço* → *RF-STEEL EC3*

Navegador

Como alternativa, pode abrir o módulo adicional no navegador *Dados* através do clique em

Módulos adicionais → **RF STEEL EC3**.

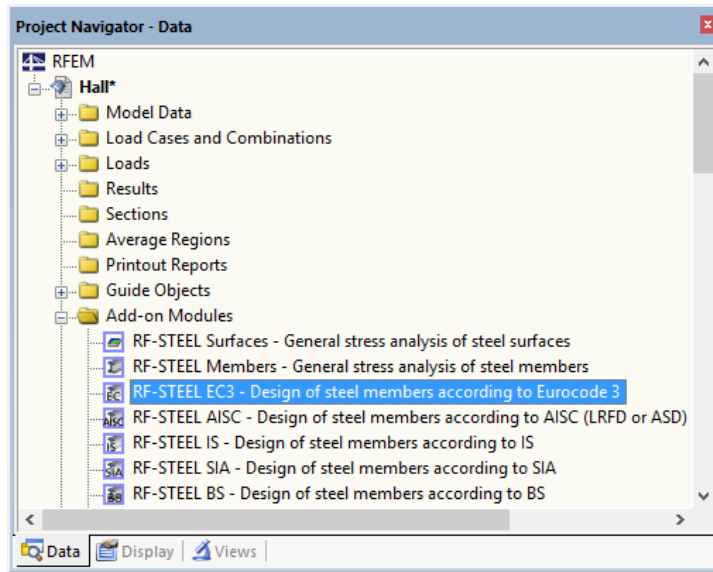
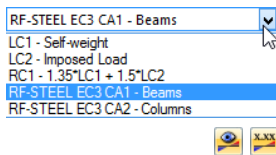


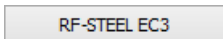
Figura 1.2: Navegador de dados: *Módulos adicionais* → *RF STEEL EC3*

Painel



Se os resultados do RF-STEEL EC3 já se encontram disponíveis no modelo do RFEM, também é possível abrir os módulos de dimensionamento a partir do painel.

Defina o caso de dimensionamento do RF-STEEL EC3 relevante na lista de casos de carga da bar de ferramentas do RFEM. Clique no botão [Mostrar resultados] para exibir graficamente o critério de dimensionamento sobre as barras.



Agora pode utilizar o botão [RF-STEEL EC3] no painel para abrir o módulo.

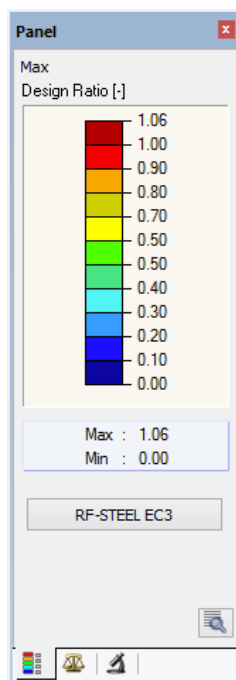


Figura 1.3: Botão do painel [RF-STEEL EC3]

2 Dados de entrada

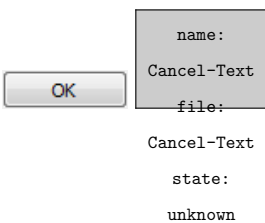
Após abrir o módulo adicional, aparece uma nova janela. Nesta janela, é apresentado um à esquerda, que gere as tabelas que podem ser atualmente selecionadas. A lista pendente acima do navegador contém os casos de dimensionamento (ver [Capítulo 7.1, página 77](#)).

Os dados relevantes de dimensionamento são definidos em diversas janelas de entrada. Quando abre o RF-STEEL EC3 pela primeira vez, os seguintes parâmetros são importados automaticamente:

- Barras e conjuntos de barras
- Casos de carga, combinações de carga, Combinações de resultados
- Materiais
- Seções
- Comprimento efetivo
- Esforços internos (no plano de fundo, se calculado)



Para selecionar uma janela, clique na correspondente entrada no navegador. Para definir a janela de entrada anterior ou seguinte, utilize os botões apresentados à esquerda. Para fazer scrool nas janelas, também pode utilizar as teclas funcionais para selecionar a janela seguinte [F2] e a anterior [F3].



[OK] guarda os resultados. Assim, sai do RF-STEEL EC3 e volta para o programa principal. Para sair do módulo adicional sem guardar os novos dados clique em [Cancelar].

2.1 Dados gerais

Na janela 1.1 *Dados gerais*, pode selecionar as barras, conjuntos de barras e as ações que pretende dimensionar. Os separadores gerem os casos de carga, as combinações de cargas e as combinações de resultados para os diferentes dimensionamentos.

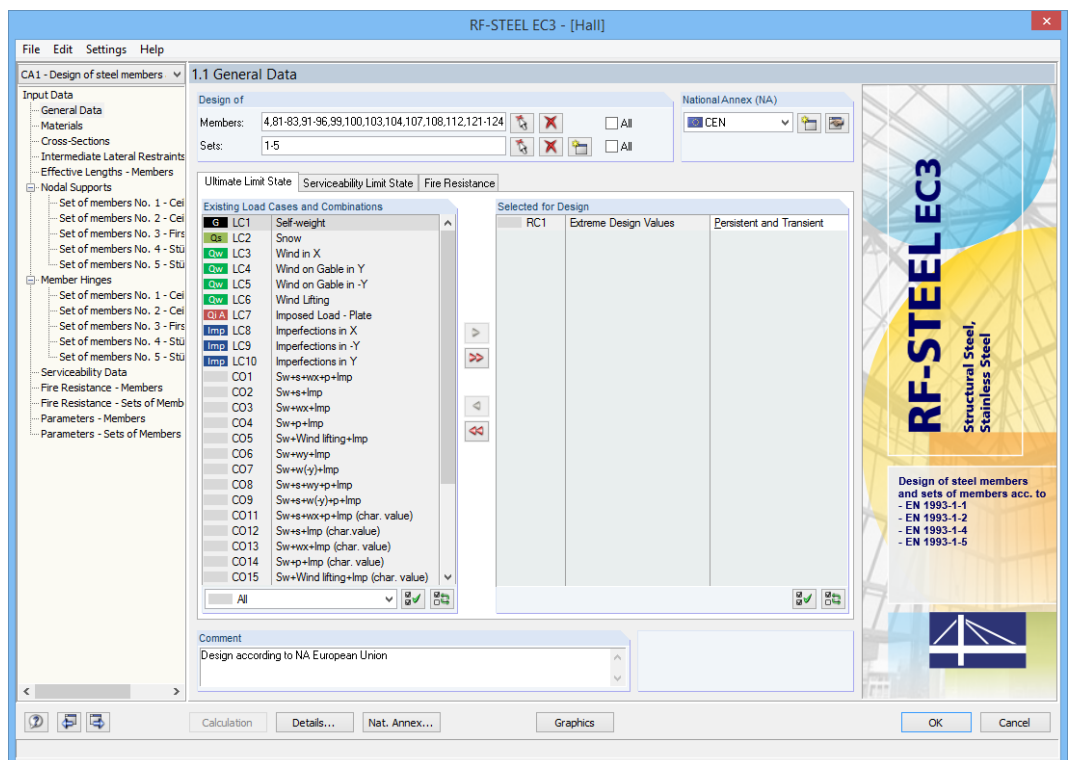


Figura 2.1: Janela 1.1 *Dados gerais*

Dimensionar

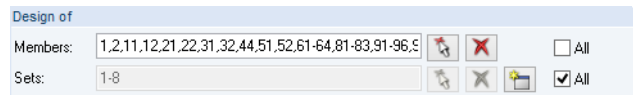


Figura 2.2: Dimensionamento de barras e conjuntos de barras



O dimensionamento pode ser realizado para *Barras*, bem como para o *Conjunto de barras*. Se pretende dimensionar apenas os objetos selecionados, desselecione *Todas* as caixas de seleção. Depois, pode aceder às caixas de texto para introduzir os números das barras ou conjuntos de barras relevantes. Pode eliminar a lista de números predefinidos na caixa de texto utilizando o botão [Eliminar]. Utilize o botão [Selecionar] para exibir os objetos graficamente na janela de trabalho do RFEM.

Quando dimensiona um conjunto de barras, o programa determina os valores limite das análises de todas as barras contidas no conjunto de barras e tem em conta as condições de fronteira das barras unidas para a análise de estabilidade. Os resultados são apresentados na janela de resultados 2.3 *Dimensionamento por conjunto de barras*, 3.2 *Esforços internos determinantes por conjunto de barras* e 4.2 *Lista de partes por conjunto de barras*.



Clique em [Novo] para criar um novo conjunto de barras. Aparece a caixa de diálogo que já conhece do RFEM, onde pode especificar os parâmetros para um conjunto de barras.

Anexo Nacional (AN)

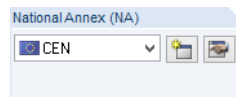


Figura 2.3: Anexo Nacional

Na caixa da lista pendente, no canto superior direito da janela pode definir o Anexo Nacional. Os parâmetros do anexo aplicam-se para o dimensionamento e os valores limite da deformação.



Utilize o botão [Editar] para abrir uma caixa de diálogo, onde pode verificar e/ou ajustar os parâmetros do Anexo Nacional selecionado. Esta caixa de diálogo é descrita no [Capítulo 2.1.4, página 11](#).

Comentário

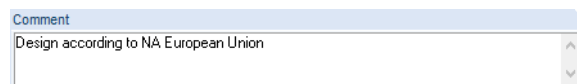


Figura 2.4: Comentário definido pelo utilizador

Nesta caixa de texto, pode introduzir notas definidas pelo utilizador, por exemplo, para descrever o atual caso de dimensionamento.

2.1.1 Estado limite de utilização

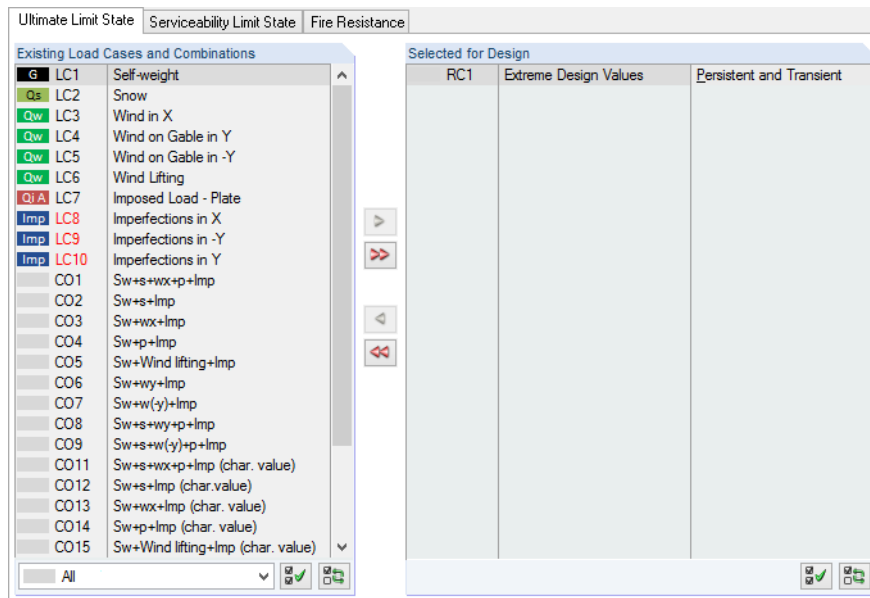


Figura 2.5: Janela 1.1 Dados gerais , separador Estado limite último

Casos e combinações de carga existentes

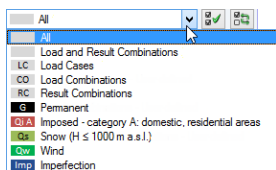
Esta coluna lista todos os casos de carga, bem como as combinações de carga e de resultados que foram criadas no RFEM.

Utilize o botão para transferir as entradas selecionadas para a tabela à direita *Selecionado para calcular*. Em alternativa, pode fazer duplo clique sobre as entradas. Para transferir a lista completa para a direita, utilize o botão .

Para transferir múltiplas entradas dos casos de carga, clique sobre as entradas enquanto pressiona a tecla [Ctrl], como é comum para as aplicações do Windows. Assim, pode transferir diversos casos de carga ao mesmo tempo.

Os casos de carga assinalado a vermelho, como o CC 8 a 10 na [Figura 2.5](#), não podem ser calculados: Isto acontece quando os casos de carga são definidos sem qualquer dados de carregamento ou contém apenas imperfeições. De seguida, quando transfere os casos de carga, aparece um aviso correspondente.

No final da lista, encontram-se diversas opções de filtro disponíveis. Estas opções serão úteis para a atribuição de entradas ordenadas por casos de carga, combinações de carga ou categoria de ações. Os botões tem as seguintes funções:



- Seleccione todos os casos de carga na lista
- Inverter a seleção dos casos de carga

Tabela 2.1: Botões no separador Estado limite último

Selecionado para cálculo

A coluna à direita lista os casos de carga, bem como as combinações de carga e de resultados selecionadas para o cálculo. Utilize o botão ou faça duplo clique sobre as entradas para eliminar da lista as entradas selecionadas. Utilize o botão para transferir a lista completa para a esquerda.

Os casos de carga, combinações de carga e as combinações de resultados podem ser atribuídos às seguintes situações de dimensionamento :

- *Permanente e temporária*
- *Acidental*

Esta classificação controla os coeficientes parciais γ_{M0} , γ_{M1} e γ_{M2} que são incluídos na determinação das resistências R_d para a seção e a análise de estabilidade (ver [Figura 2.10, página 12](#)).

Para alterar a situação de dimensionamento, utilize a lista no final da caixa de texto, a qual pode abrir através do clique no botão de seta da lista pendente .

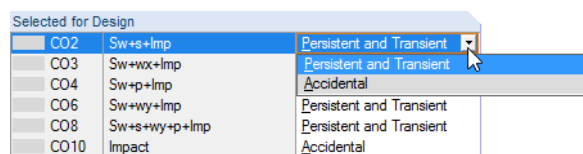


Figura 2.6: Atribuir a situação de dimensionamento

Para uma seleção múltipla, pressione a tecla [Ctrl] e clique nas correspondentes entradas. Assim, pode alterar diversas entradas de uma só vez.



Combinação de resultados

O cálculo de uma combinação de resultados máx/mín envolvente é realizado de forma mais rápida do que se realizasse o cálculo para todos casos de carga e combinações de carga contidos. Contudo, a análise de uma combinação de resultados também tem as suas desvantagens: Primeiro, a influência das ações contidas é difícil de discernir. Segundo, para a determinação do momento elástico crítico M_{cr} para a encurvadura por flexão torção, a envolvente das distribuições do momento é analisada, a partir da qual é considerada a distribuição mais desfavorável (máx ou mín). No entanto, a distribuição raramente reflete a distribuição de momento nas combinações de carga individuais. Portanto, são esperados valores mais desfavoráveis para M_{cr} no cálculo das CR, levando a elevadas relações.

As combinações de resultados devem ser selecionadas para cálculo apenas em caso de combinações dinâmicas. Para combinações "usuais", são recomendadas combinações de carga, desde que a atual distribuição de momentos seja tida em consideração de M_{cr} .

2.1.2 Estado limite de utilização

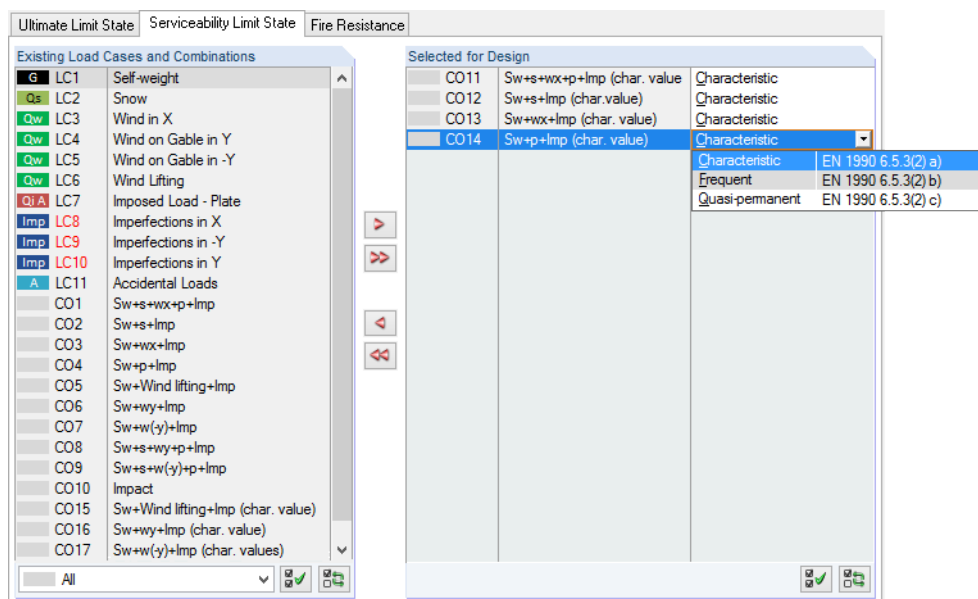


Figura 2.7: Janela 1.1 Dados gerais, separador Estado limite de utilização

Casos e combinações de carga existentes

Esta seção lista todos os casos de carga, combinações de carga, e combinações de resultados que foram criados no RFEM.

Selecionado para cálculo



é possível adicionar ou eliminar casos de carga, bem como combinações de carga e de resultados como descrito no [Capítulo 2.1.1](#).

Pode atribuir diferentes valores de deformação para os casos de carga, combinações de carga e combinações de resultados individuais. Pode selecionar a partir das seguintes situações de dimensionamento:

- *Característico*
- *Frequente*
- *Quase permanente*

Para alterar a situação de dimensionamento, utilize a lista no final da caixa de texto, a qual pode ser aberta clicando em (ver [Figura 2.7](#)).

Os valores limite das deformações são definidos no Anexo Nacional. Para ajustar esses valores de acordo com a situação e dimensionamento, clique no botão [Anexo Nacional]. Aparece a caixa de diálogo *Configuração do Anexo Nacional* (ver [Figura 2.10](#), página 12).

Na janela 1.9 *Dados do estado limite de utilização*, é possível especificar o comprimento de referência que é determinante para a análise da deformação (ver [Capítulo 2.9](#), página 33).

```
name: Nat-Annex-Text
file: Nat-Annex-Text
state: unknown
```

2.1.3 Resistência ao fogo

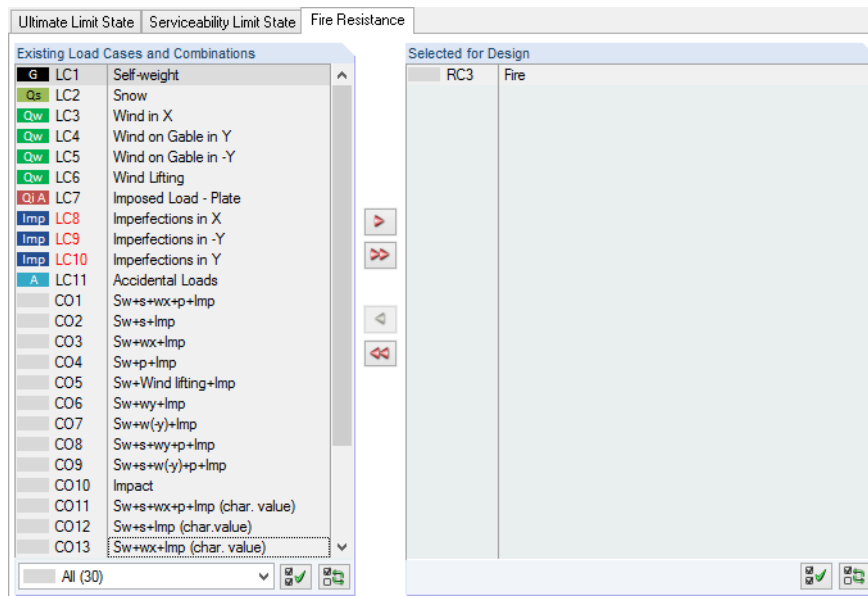


Figura 2.8: Janela 1.1 *Dados gerais*, separador *Resistência ao fogo*

Casos e combinações de carga existentes

Esta seção lista todos os casos de carga, combinações de carga e combinações de resultados criados no RFEM.

Selecionado para cálculo



Pode adicionar ou eliminar casos de carga, bem como combinações de carga e resultados como descrito no [Capítulo 2.1.1](#). Nesta seção de diálogo, pode selecionar as ações que foram determinadas de acordo com EN 1991-1-2 [2].

2.1.4 Anexo Nacional (AN)

Na lista superior direita da janela 1.1 *Dados gerais*, é possível selecionar o Anexo Nacional com parâmetros válidos para o cálculo e valores limite da deformação.



Figura 2.9: Selecionar o anexo Nacional



Clique no botão [Editar] para verificar, e se necessário, ajustar os parâmetros predefinidos (ver a imagem seguinte).



```
name: Nat-Annex-Text
file: Nat-Annex-Text
state: unknown
```

Clique no botão [Novo] para criar um Anexo Nacional definido pelo utilizador.

Além disso, pode utilizar o botão [Anexo Nacional] disponível em todas as janelas de entrada. Assim, abre a caixa de diálogo *Configuração do Anexo Nacional* que é constituída por dois separadores.

Básico

Figura 2.10: Caixa de diálogo *Configuração do Anexo Nacional - CEN*, separador *Básico*

Nas seções individuais deste separador, pode verificar os *Coefficientes parciais*, os *Limites da utilização (Deformações)*, bem como os *Parâmetros para a encurvadura por flexão torção* e ajusta-los se necessário.



Na seção *Método geral de acordo com 6.3.4*, pode determinar a análise de estabilidade para ser sempre realizada de acordo com [1], Clausula 6.3.4. O Anexo nacional alemão define o Método Geral aplicável apenas para seções em I. A opção *Ativo também para seções não I* permite utilizar também o método para outras seções.

Para além disso, pode realizar a análise de estabilidade utilizando a *Curva europeia da encurvadura por flexão torção* de acordo com NAUMES[4]. Na sua dissertação [5], NAUMES adaptada ao "Método Geral para a verificação da encurvadura e para encurvadura por flexão-torção dos componentes estruturais" de acordo com [1] Cláusula 6.3.4, para adicional flexão transversa e torção. Este *método adaptado* encontra-se agora disponível para o dimensionamento de seções assimétricas, bem como para barras e conjuntos de barras de seção variável com flexão biaxial (torção não é atualmente considerada no RF-STEEL EC3).

De acordo com [1], Cláusula 6.3.4 (4), o coeficiente de redução χ_{op} deve ser calculado

- como o valor mínimo da encurvadura de acordo com 6.3.1 ou χ_{LT} para a encurvadura por flexão torção de acordo com 6.3.2 utilizando a relação de esbelteza λ_{op} ou
- como o valor interpolado entre χ e χ_{LT} - ver também [1], Equação (6.66).

Desde que o método de acordo com NAUMES é baseado na curva europeia da encurvadura por flexão torção padronizada considerando o coeficiente de imperfeição alterado α^* , a interação entre a encurvadura local e a encurvadura por flexão torção de acordo com [1], Equação (6.66) não é aplicada.

Calculation	
Main plane	Secondary plane
$\alpha_{Ed}(x) = \frac{\chi_{LT}(x) \cdot \alpha_{ult,k}(x)}{\gamma_{M1}} \geq 1$	$\beta_z(x) = \frac{M_{z,Ed}(x)}{M_{z,Rd}(x)} \cdot (1 - q_{Mz})$
Design	
simplified	exact
$\Delta n_R = 0.9$	$\Delta n_R = 1 - \frac{1}{\alpha_{Ed}(x)} \cdot \left[1 - \frac{1}{\alpha_{Ed}(x)} \right] \cdot \chi_{LT}^2(x) \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2(x)$
$\frac{1}{\alpha_{Ed}(x)} + \beta_z(x) \leq \Delta n_R$	

Figura 2.11: Cálculo para o método de acordo com NAUMES

No primeiro passo, o cálculo é realizado de forma separada para o plano carga-resistência principal e secundário. Em simultâneo, o coeficiente de momento q_{Mz} é determinado de acordo com Figura 2.12.

No segundo passo, é determinado o critério de dimensionamento Δn_R .

Finalmente, o dimensionamento é realizado através da soma das relações de dimensionamento para o plano de carga-resistência principal e secundário e comparado com o critério de dimensionamento Δn_R .

Moment distribution M_z	q_{Mz}
	$q_{Mz} = 0.21 \cdot (1 - \psi_z) + 0.36 \cdot (0.33 - \psi_z) \cdot \frac{1}{\alpha_{crit}} \leq \frac{1}{\alpha_{crit}}$
	$q_{Mz} = \frac{1}{\alpha_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{\pi^2 EI_z \cdot \max \delta_y }{l^2 \cdot \max M_{z,Ed} } \right)$
	$\max \delta_y $ is the major transverse bending distribution, $\max M_{Ed} $ is the major transverse bending distribution along the component longitudinal axis.
	$q_{Mz} = 0.18 \cdot \frac{1}{\alpha_{crit}}$
	$q_{Mz} = 0.03 \cdot \frac{1}{\alpha_{crit}}$

Figura 2.12: Determinar o coeficiente do momento q_{Mz}

Os botões na caixa de diálogo *Configuração do Anexo Nacional* tem as seguintes funções:

Botão	Função
	Repõe os valores originais do programa
	Importa as configurações padrão definidas pelo utilizador
	Guarda a configuração alterada como padrão
	Elimina o Anexo Nacional definido pelo utilizador

Tabela 2.2: Botões na caixa de diálogo *Configuração do Anexo Nacional*

Aço inoxidável (EN 1993-1-4)

No RF-STEEL EC3, também é possível dimensionar componentes estruturais constituídos por aço inoxidável de acordo com EN 1993-1-4[3].

No segundo separador da caixa de diálogo *Configuração do anexo Nacional* pode encontrar os *Coefficientes parciais* e os *Parâmetros para a verificação de estabilidade* relevantes.

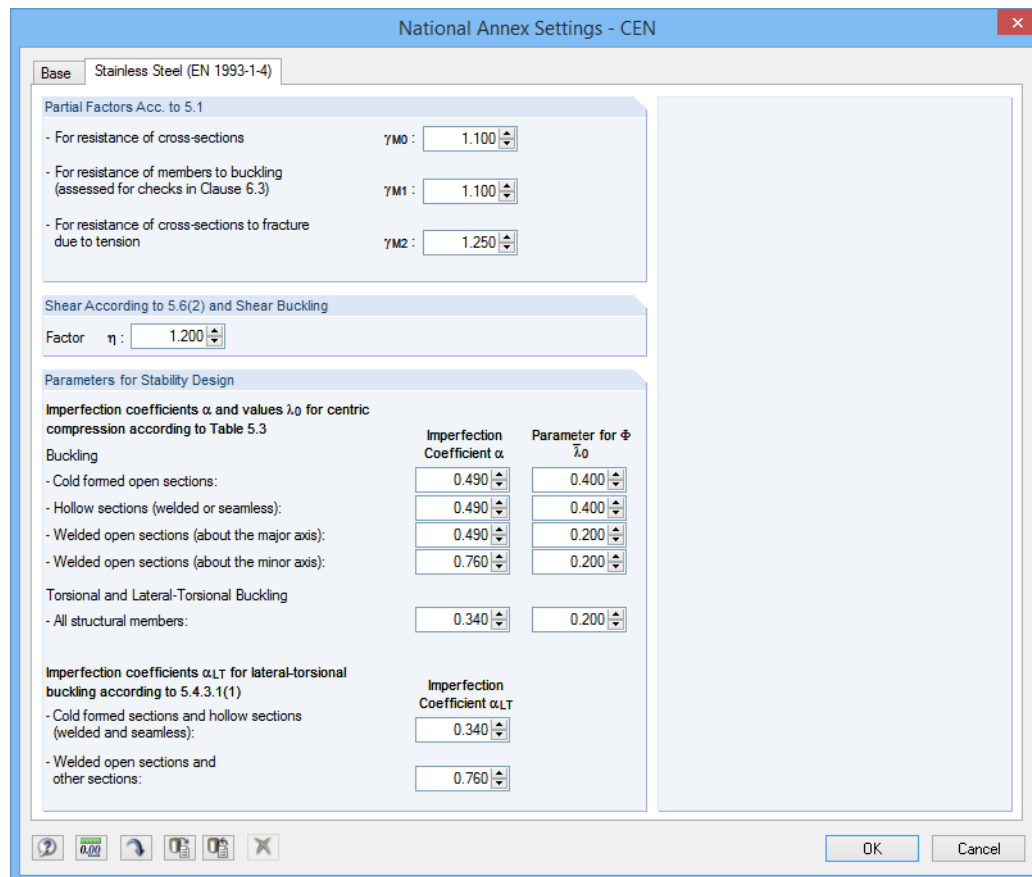


Figura 2.13: Caixa de diálogo *Configuração do Anexo Nacional - CEN*, separador *Aço inoxidável (EN 1993-1-4)*

2.2 Materiais

A janela está subdividida em duas partes. A parte de cima lista os materiais criados no RFEM. A seção *Propriedades dos materiais* mostra as propriedades do material atual, que se encontra atualmente selecionado na linha da tabela na seção superior.

Material No.	Material Description	Comment
1	Steel S 235 EN 10025-2:2004-11	
2	Steel S 355 EN 10025-2:2004-11	
3	Concrete C30/37 EN 1992-1-1:2004/AC:2010	

Material Properties			
<input checked="" type="checkbox"/> Main Properties			
Modulus of Elasticity	E	210000.0	N/mm ²
Shear Modulus	G	80769.2	N/mm ²
Poisson's Ratio	ν	0.300	
Specific Weight	γ	78.50	kN/m ³
Coefficient of Thermal Expansion	α	1.2000E-05	1/K
Partial Safety Factor	γ_M	1.00	
<input checked="" type="checkbox"/> Additional Properties			
Coefficient for Limiting Stresses of Welds	α_w	0.950	
Correlation Factor for Fillet Welds	β_w	0.800	
<input checked="" type="checkbox"/> Thickness Range $t \leq 1.60$ cm			
<input checked="" type="checkbox"/> Thickness Range $t > 1.60$ cm and $t \leq 4.00$ cm			
<input checked="" type="checkbox"/> Thickness Range $t > 4.00$ cm and $t \leq 10.00$ cm			
Yield Strength	f_y	21.50	kN/cm ²
Ultimate Strength	f_u	36.00	kN/cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Thickness Range $t > 10.00$ cm and $t \leq 15.00$ cm			
<input checked="" type="checkbox"/> Thickness Range $t > 15.00$ cm and $t \leq 20.00$ cm			
<input checked="" type="checkbox"/> Thickness Range $t > 20.00$ cm and $t \leq 25.00$ cm			
<input checked="" type="checkbox"/> Thickness Range $t > 25.00$ cm and $t \leq 40.00$ cm			

Material No. 1 used in	
Cross-sections No.:	1.6,7,9,10,12,15,17
Members No.:	1,2,4-7,11,12,22,31-40,44,51,52,61-64,66
Sets of members No.:	1-8
Σ Lengths:	223.81 [m]
Σ Masses:	11.736 [t]

Figura 2.14: Janela 1.2 *Materiais*

Os materiais que não serão utilizados no cálculo são esbatidos. Os materiais que não são permitidos são destacados a vermelho. Os materiais alterados são destacados azul.

As propriedades do material necessárias para a determinação dos esforços internos são descritas no capítulo 4.3 do manual do RFEM (*Propriedades principais*). As propriedades dos materiais necessárias para o dimensionamento são armazenadas na biblioteca de materiais global. Esses valores são predefinidos (*Propriedades adicionais*).

É possível ajustar as unidades e as casas decimais das propriedades do material e das tensões utilizando o menu **Configuração** → **Unidades e casas decimais** (ver [Capítulo 7.3, página 81](#)).

Descrição do material

Os materiais definido no RFEM são predefinidos, mas é sempre possível altera-los: Para o fazer, clique sobre o material na coluna A. Depois clique em ou pressione a tecla [F7] para abrir a lista de materiais.

Material Description	Standard
Steel S 235 EN 10025-2:2004-11	
Fine Grain Steel S 420 N	EN 10113:1993-04
Fine Grain Steel S 460 N	EN 10113:1993-04
Steel S 220 GD	EN 10147:2000-07
Steel S 250 GD	EN 10147:2000-07
Steel S 280 GD	EN 10147:2000-07
Steel S 320 GD	EN 10147:2000-07
Steel S 350 GD	EN 10147:2000-07
Steel S 550 GD	EN 10147:2000-07
Steel S 235 JR	EN 10025:1994-03
Steel S 235 JR G1	EN 10025:1994-03

Figura 2.15: Lista de materiais

De acordo com o conceito de dimensionamento da norma [1], apenas os materiais da categoria do Aço se encontram disponíveis na lista.

Quando tiver importado uma material, as *Propriedades do material* relevantes para o dimensionamento são atualizadas.

Se altera a descrição do material manualmente e a entrada é armazenada na biblioteca de materiais, o RF-STEEL EC3 também importará as propriedades do material.

Geralmente, As propriedades dos materiais não são editáveis no módulo adicional RF-STEEL EC3.

Biblioteca de materiais

A biblioteca de materiais dispõe de inúmeros materiais disponíveis. Para abrir a biblioteca de materiais, clique em

Editar → **Biblioteca de materiais**



ou utilize o botão apresentado à esquerda.

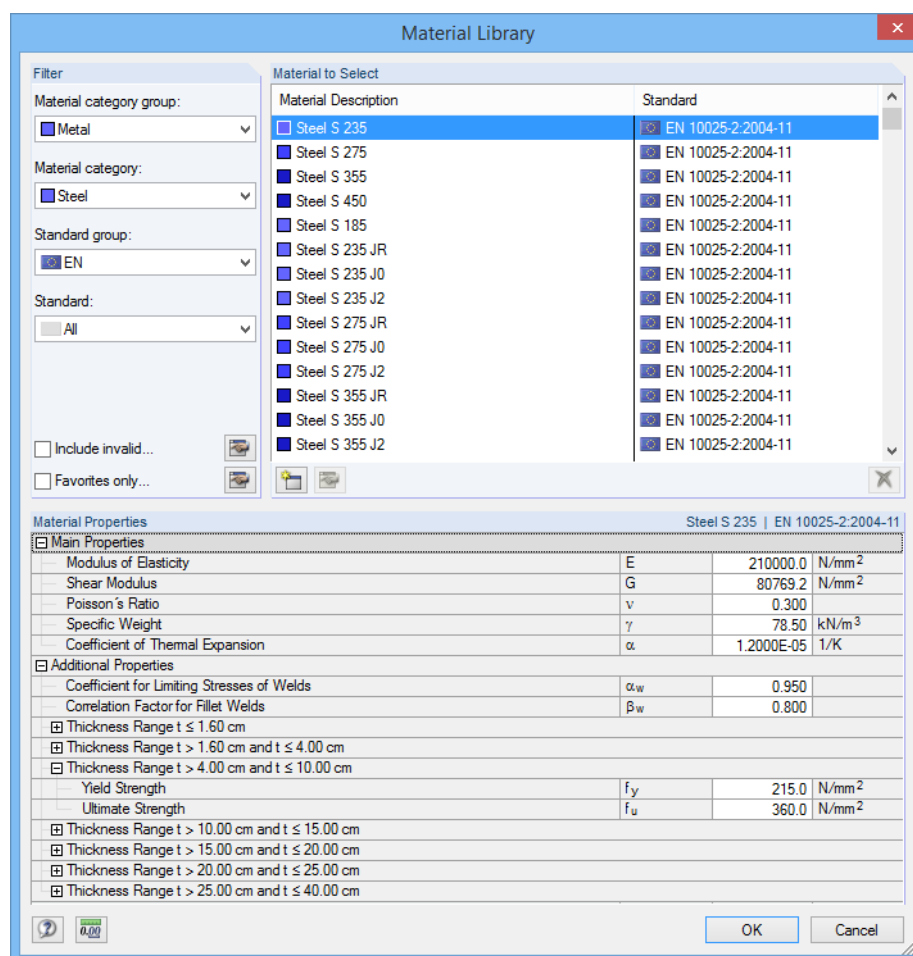
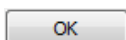


Figura 2.16: Caixa de diálogo *Biblioteca de materiais*

Na seção *Filtro*, encontra-se predefinida a atual categoria de materiais Aço. Selecione o material específico na lista *Material a selecionar*. Pode verificar as correspondentes propriedades na seção de dialogo abaixo.



Clique em [Ok], ou utilize o botão [←] para transferir o material selecionado para a janela 1.2 do RF-STEEL EC3.

O capítulo 4.3 no manual do RFEM descreve em detalhe como é que os materiais podem ser filtrados, adicionados ou reorganizados.

Na biblioteca, também é possível selecionar materiais das categorias *Ferro fundido* e *Aço inoxidável*. Verifique, contudo se esses materiais são permitidos pelo conceito de dimensionamento da norma [1].

2.3 Seções

Esta janela lista as seções utilizadas para dimensionamento. Além disso, pode aqui, especificar os parâmetros de otimização.

1.3 Cross-Sections

Section No.	A Material No.	B Cross-Section Description	C Cross-Section Type for Classification	D Cross-Section Classification	E Optimize	F Remark	G Comment
1	1	I IPE 400 Euronorm 19-	I-section rolled	Automatically	No	5)	
2	1	I IPE 300 Euronorm 19-	I-section rolled	Automatically	From Current Row	2)	
3	1	I ICU IPE 300 + IPE 300	General	Automatically	No	3)	
4	1	I ICU IPE 300 + IPE 300	General	Automatically	From current row	3)	
5	2	I IPE 300 Euronorm 19-	I-section rolled	Automatically	From favorites 'Euronorm'	5)	
6	1	I HE A 140 Euronorm 5	I-section rolled	Automatically	No	5)	
7	1	I HE A 200 Euronorm 5	I-section rolled	Automatically	No	5)	
8	1	RO 101.6x5 (Cold Form	Pipe	Automatically	No	5)	
9	1	I IPE 200 Euronorm 19-	I-section rolled	Automatically	No	5)	
10	1	RD 201 Macsteel	General	Automatically	No	5)	

2) The cross-section will be optimized, utilizing the best section from the table.

Cross-Section Properties - IPE 300 | Euronorm 19-57

Cross-Section Type		I-section rolled		
Section Height	h	300.0	mm	
Section Width	b	150.0	mm	
Web Thickness	t _w	7.1	mm	
Flange Thickness	t _f	10.7	mm	
Root Radius	r	15.0	mm	
Cross-Sectional Area	A	53.80	cm ²	
Effective Shear Area	A _{v,y}	33.67	cm ²	
Effective Shear Area	A _{v,z}	25.67	cm ²	≥ η _h t _w 6.2.6(3)a)
Moment of Inertia	I _y	8360.00	cm ⁴	
Moment of Inertia	I _z	604.00	cm ⁴	
Torsional Constant	I _t	20.20	cm ⁴	
Radius of Gyration	i _y	125.0	mm	
Radius of Gyration	i _z	33.5	mm	
Elastic Section Modulus	W _{el,y}	557.00	cm ³	
Elastic Section Modulus	W _{el,z}	80.50	cm ³	
Plastic Section Modulus	W _{pl,y}	628.00	cm ³	

Cross-section No. 2 used in

Members No.: 4,8,9,11-13,17,21,30,34,43,47,57-60

Sets of members No.: 1-4

Σ Lengths: 45.86 [m] Σ Masses: 1.937 [t]

Material: 1 - Steel S 235

Figura 2.17: Janela 1.3 Seções

Descrição da seção

As seções definidas no RFEM encontram-se predefinidas com os números do material atribuídos.



Se pretende alterar uma seção, clique na entrada na coluna B. Clique em [Biblioteca de seções] ou na caixa ou pressione a tecla [F7] para abrir a tabela da seção da atual caixa da seção (ver a imagem seguinte).



Nesta caixa de diálogo, pode selecionar um tipo diferente de seção. Para selecionar um tipo diferente de seção, clique em [Voltar para a biblioteca de seções] para aceder à biblioteca geral de seções.

o capítulo 4.13 do manual do RFEM descreve como é que as seções podem ser selecionadas a partir da biblioteca.

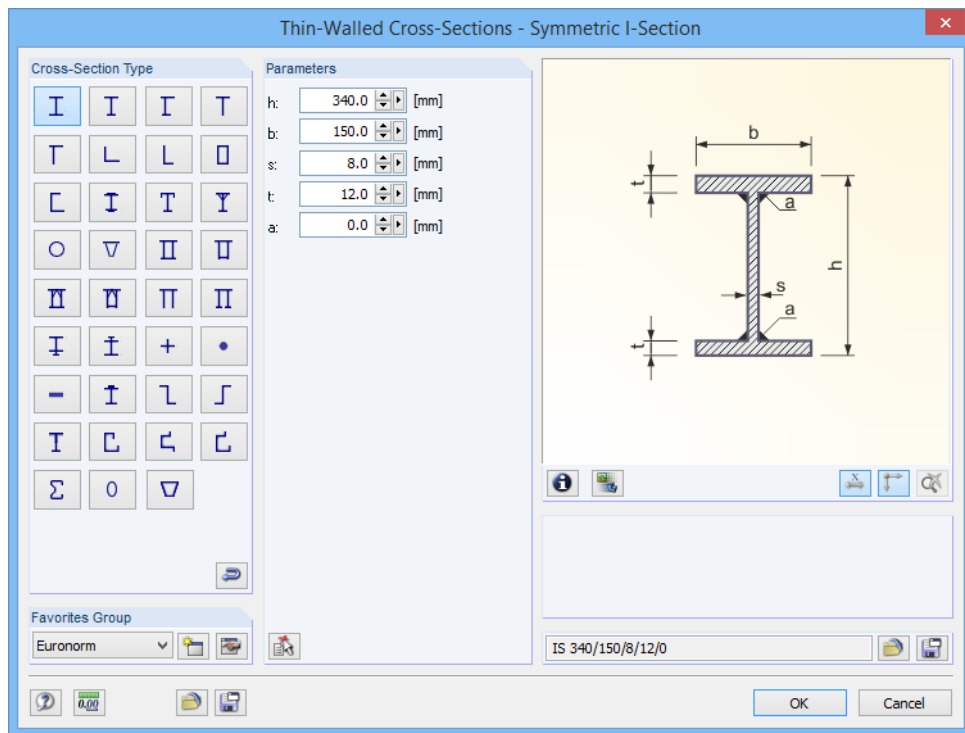
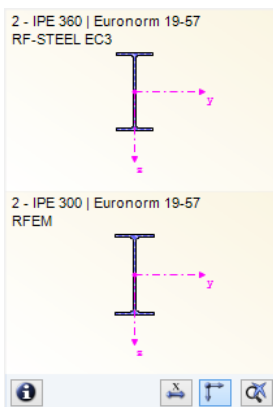


Figura 2.18: Tipos de seção IS na biblioteca de seções



Pode introduzir diretamente a descrição da nova seção na janela de entrada. Se a entrada se encontra listada na base de dados, o RF-STEEL EC3 também importa esses parâmetros de seção.

Uma seção alterada será destacada a azul.

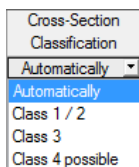
Se as seções no RF-STEEL EC3 são diferentes das utilizadas no RFEM, ambas as seções são exibidas no gráfico à direita. Os dimensionamentos serão realizados para a seção selecionada no RF-STEEL EC3, utilizando os esforços internos do RFEM.

Tipo de seção para classificação

O programa exibe um tipo de seção que será utilizado para a classificação. As seções listadas em [1], Tabela 5.2 podem ser dimensionadas plasticamente ou elasticamente de acordo com a Classe. As seções não incluídas na lista da tabela são classificadas como *Geral* e apenas podem ser dimensionadas elasticamente (Classe 3 ou 4).

Classificação

O RF-STEEL EC3 realiza a classificação *Automaticamente*. Se isto não é desejado, pode determinar a classe da seção manualmente utilizando a lista pendente.



Relação de dimensionamento máxima

Esta coluna é exibida apenas após o cálculo. Providencia uma decisão de apoio para a otimização. Através da relação de dimensionamento máxima e das escalas de relação coloridas, pode ver quais as seções que são pouco utilizadas e assim sobredimensionadas, sobrecarregadas e assim sobcarregadas.

Optimize

Pode otimizar cada seção a partir da biblioteca: Para os esforços internos do RFEM, o programa procura a seção que se aproxima o mais possível à relação máxima definida pelo utilizador. Pode definir a relação máxima na caixa diálogo *Detalhes*, separador *Outros* (ver Figura 3.8, página 51).

Se pretende otimizar uma seção, abre a lista pendente correspondente na coluna D ou E e seleciona a entrada desejada: *A partir da atual linha* ou, se disponível, *A partir da 'Descrição' favorita*. Recomendações para a otimização da seção podem ser encontradas no [Capítulo 7.2](#) na [página 79](#).

Observação

Esta coluna mostra as observações na forma de rodapé que são explicadas abaixo da lista da seção.



Pode aparecer uma aviso antes do cálculo: *Tipo incorreto de seção!* Significa que existe uma seção que não se encontra na base de dados. Esta pode ser uma seção definida pelo utilizador ou uma seção SHAPE-THIN que ainda não foi calculada. Para selecionar uma seção apropriada para dimensionamento, clique no botão [Biblioteca] (ver descrição abaixo [Figura 2.17](#)).

Barra com seção variável

Para barras de seção variável com diferentes seções no início e fim da barra, o módulo apresenta os dois números das seções em duas linhas, em concordância com a definição no RFEM.

O RF-STEEL EC3 também dimensiona barras de seção variável, desde que a seção no início e fim da barra tenham o mesmo número de pontos de tensão. As tensões normais, por exemplo são determinadas a partir dos momentos de inércia e das distâncias ao centro geométrico dos pontos de tensão. Se uma seção no início e fim de uma barra de seção variável tem um número diferente de pontos de tensão, os valores intermédios não podem ser interpolados. De seguida, o cálculo é possível, quer com o RFEM quer com o RF-STEEL EC3.



Os pontos de tensão da seção incluindo a numeração, também podem ser verificados graficamente: Selecione a seção na janela 1.3 e clique no botão [Info]. Aparece a caixa de diálogo apresentada na [Figura 2.19](#).

Informação sobre a seção



Na caixa de diálogo *Informação sobre a seção*, pode verificar as propriedades da seção, os pontos de tensão e as partes-c/t.

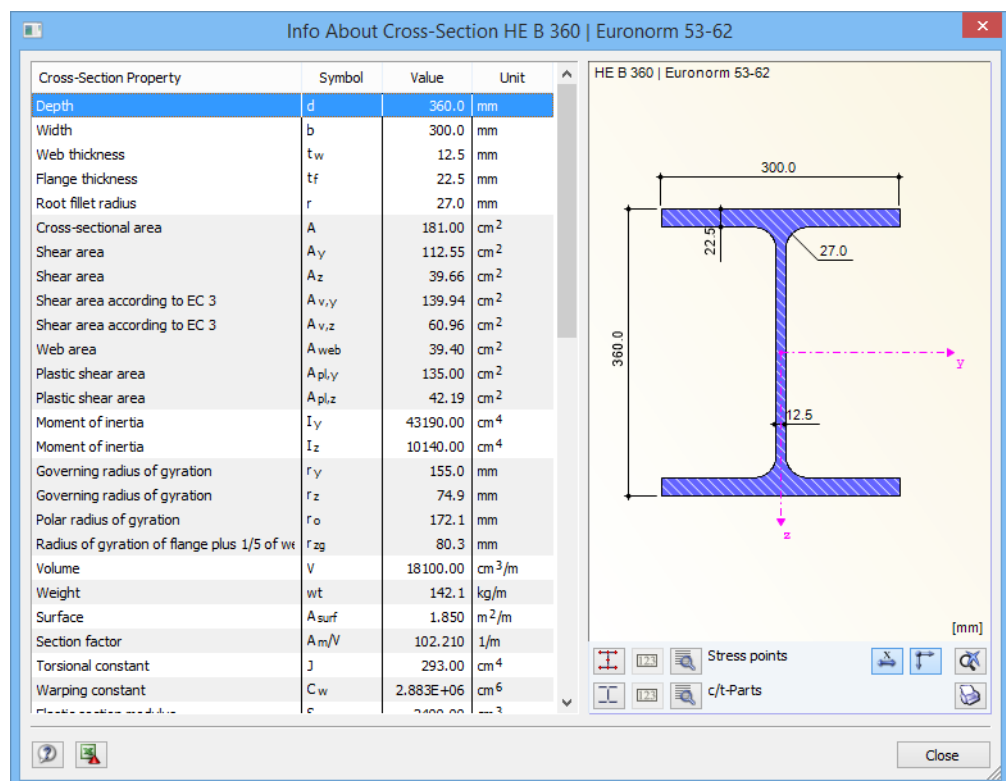


Figura 2.19: Caixa de diálogo *Informação sobre a seção*

Os botões abaixo do gráfico da seção tem as seguintes funções:

Botão	Função
	Exibe ou oculta os pontos de tensão
	Exibe ou oculta as partes-c/t da seção
	Exibe ou oculta a numeração dos pontos de tensão ou das partes-c/t
	Exibe os detalhes dos pontos tensão ou das partes-c/t (ver Figura 2.20)
	Exibe ou oculta as dimensões da seção
	Exibe ou oculta os eixos principais da seção
	Restaura a vista completa do gráfico da seção

Tabela 2.3: Botões do gráfico seção



Clique em [Detalhes] para invocar a informação detalhada nos pontos de tensão (distância ao centro de gravidade, momentos estáticos da área, constantes de empenamento etc.) e partes-c/t.

Stress Points of HE B 260 | Euronorm 53-62

StressP No.	Coordinates		Statcal Moments of Area		Thickness t [mm]	Warping	
	y [mm]	z [mm]	Q _y [cm ³]	Q _z [cm ³]		W _{no} [cm ²]	Q _w [cm ⁴]
1	-130.0	-130.0	0.00	0.00	17.5	157.63	0.00
2	-29.0	-130.0	-214.01	-140.47	17.5	35.16	-1703.76
3	0.0	-130.0	-278.73	-148.54	17.5	0.00	-1792.98
4	29.0	-130.0	-214.01	140.47	17.5	-35.16	1703.76
5	130.0	-130.0	0.00	0.00	17.5	-157.63	0.00
6	-130.0	130.0	0.00	0.00	17.5	-157.63	0.00
7	-29.0	130.0	-214.31	140.52	17.5	-35.16	-1703.76
8	0.0	130.0	-278.73	148.54	17.5	0.00	-1792.98
9	29.0	130.0	-214.31	-140.52	17.5	35.16	1703.76
10	130.0	130.0	0.00	0.00	17.5	157.63	0.00
11	0.0	-88.5	-600.75	0.00	10.0	0.00	0.00
12	0.0	88.5	-601.59	0.00	10.0	0.00	0.00
13	0.0	0.0	-640.15	0.00	10.0	0.00	0.00

HE B 260

Close

Figura 2.20: Caixa de diálogo *Pontos de tensão de HE B 260*



Se as circunstâncias o exigirem, pode alterar as curvas de encurvadura na tabela *Propriedades da seção* da janela 1.3Seções. Esta função é descrita no artigo seguinte do blog da DLUBAL Blog: www.dlubal.com/blog/8684

2.4 Restrições laterais intermédias

Na janela 1.4 é possível definir as restrições laterais intermédias para as barras. No RF-STEEL EC3, este tipo de apoio é sempre perpendicular ao eixo z-menor da seção (ver [Figura 2.19](#)). Assim, pode influenciar o comprimento efetivo das barras, os quais são importantes para a análise e estabilidade da encurvadura por flexão e encurvadura por flexão torção (apenas para o tipo de restrição *Lateral e torcional*).

1.4 Intermediate Lateral Restraints

Member No.	A Lateral Restraints	B Restraint Type	C Length L [m]	D Number	E x ₁	F x ₂	Intermediate Lateral Restraints [-]										
							G x ₃	H x ₄	I x ₅	J x ₆	K x ₇	L x ₈	M x ₉				
14	<input type="checkbox"/>		3.262														
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Lateral and torsional	6.274	2	0.400	0.750											
33	<input type="checkbox"/>		3.000														
34	<input type="checkbox"/>		3.546														
35	<input type="checkbox"/>		3.000														
36	<input checked="" type="checkbox"/>	Lateral (Upper Flange)	4.094	1	0.500												
41	<input type="checkbox"/>		3.011														
42	<input type="checkbox"/>		3.262														
43	<input checked="" type="checkbox"/>	User-Defined	6.274	1	0.500												
51	<input type="checkbox"/>		3.000														

Relatively (0 ... 1)

Settings - Member No. 43

Cross-Section: 2 - IPE 300 | Euronorm 19-57

Lateral Restraints: User-Defined

Restraint type: User-Defined

Lateral Restraint in y: u_y

Restrained about x: φ_x

Eccentricity: e_z = -124.3 mm

Member Length: L = 6.274 m

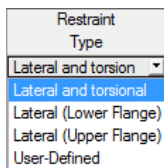
Number of Intermediate Lateral Restraints: n = 1

Location of Lateral Restraint No. 1: x₁ = 0.500

Figura 2.21: Janela 1.4 Restrições laterais intermédias

Na parte superior da janela, pode atribuir até nove restrições laterais para cada barra. A seção *Configurações* apresenta a entrada numa vista geral da coluna para a barra selecionada acima.

Para definir uma restrição intermédia de uma barra, selecione a caixa de seleção *Restrições laterais* na coluna A. Para selecionar graficamente a barra, clique em . Se seleciona a caixa de seleção, as outras colunas tornam-se ativas, e pode introduzir os parâmetros.



Na coluna B, pode selecionar o *Tipo de restrição* a partir da lista pendente. A restrição lateral e torcional está predefinida. Além do mais, também podem ser introduzidas restrições intermédias no banzo superior e inferior. O tipo de restrição *Definido pelo utilizador* permite especificar individualmente os parâmetros de restrição na seção *Configurações* (apoio lateral na direção do eixo y da barra, restringida sobre o eixo x longitudinal da barra, excentricidade de uma restrição).

Na coluna D, pode especificar o *Número* de restrições intermédias. Dependendo da especificação, encontram-se disponíveis uma ou mais das seguintes colunas das *Restrições laterais intermédias* para a definição das posições x.

Se seleciona a caixa de seleção *Relativamente (0 ... 1)*, pode definir os ponto de apoio através da entrada relativa. As posições das restrições intermédias são determinadas pelo comprimento da barra e as distâncias relativas do início da barra. Se desseleciona a caixa de seleção *Relativamente (0 ... 1)*, é possível definir as distâncias manualmente na parte superior da tabela.

No caso de consolas, devem ser evitadas as restrições intermédias, estas dividem a barra em segmentos. Para vigas de consola, isto resultaria num segmento com restrições laterais e torcionais (uma em cada extremidade) que não estão determinadas estaticamente.

```
name: Relative-Text
file: Relative-Text
state: unknown
```



2.5 Comprimento efetivo - Barras

A janela está subdividida em duas partes. A tabela superior inclui a informação resumida sobre os coeficientes do comprimento de encurvadura, encurvadura lateral torcional e encurvadura por flexão torção, bem como o comprimento equivalente das barras a serem dimensionadas. O comprimento efetivo definido no RFEM encontra-se predefinido. Na seção *Configurações* pode ver a informação adicional sobre a barra selecionada na seção superior.

Clique em para selecionar uma barra graficamente e mostrar a sua linha.

Pode realizar quaisquer alterações na tabela superior, bem como na árvore *Configurações*.

1.5 Effective Lengths - Members

Member No.	Buckling About Axis y		Buckling About Axis z			Lateral-Torsional and Torsional-Flexural Buckling					Comment	
	Possible	Factor	Factor	Length [m]	Factor	Factor	Length [m]	Possible	k_z	k_w		L_w [m]
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	6.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	6.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	6.000	6.000
2	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	6.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	6.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	6.000	6.000
11	<input checked="" type="checkbox"/>	4.040	<input checked="" type="checkbox"/>	24.240	<input checked="" type="checkbox"/>	1.086	3.258	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	3.000	3.000
12	<input checked="" type="checkbox"/>	3.855	<input checked="" type="checkbox"/>	23.130	<input checked="" type="checkbox"/>	1.036	3.108	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	3.000	3.000
21	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	6.000	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0		
22	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	6.000	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0		
31	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	3.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	3.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	3.000	3.000
32	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	3.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	3.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	3.000	3.000
44	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	6.274	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	6.274	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	6.274	6.274
51	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	3.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	3.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	3.000	3.000

Settings - Member No. 1

Cross-Section	2 - IPE 300 Euronorm 19-57	
Length	L	6.000 m
Buckling Possible		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Buckling About Axis y Possible		<input checked="" type="checkbox"/>
Effective Length Factor	$k_{cr,y}$	1.000
Effective Length	$L_{cr,y}$	6.000 m
<input type="checkbox"/> Buckling About Axis z Possible		<input checked="" type="checkbox"/>
Effective Length Factor	$k_{cr,z}$	1.000
Effective Length	$L_{cr,z}$	6.000 m
<input type="checkbox"/> Lateral-Torsional Buckling Possible		<input checked="" type="checkbox"/>
Effective Length Factor (Restraint Type)	k_z	1.0
Warping Factor (Restraint Type)	k_w	1.0
LTB Length	L_w	6.000 m
Torsional Length	L_T	6.000 m
Comment		

Set input for members No.:

Figura 2.22: Janela 1.5 Comprimento efetivo - Barras

O comprimento efetivo para a encurvadura sobre o eixo simétrico z é alinhado automaticamente com as entradas da janela 1.4 *Restrições laterais intermédias*. Se as restrições laterais intermédias estão a dividir a barra em segmentos de barra de diferentes comprimentos, o programa não apresenta quaisquer valores nas colunas G, K e L da tabela da janela 1.5.

Pode introduzir manualmente os comprimentos efetivos na tabela e na árvore *Configurações*, ou define-os graficamente na janela de trabalho através do clique no botão . O botão está ativo quando coloca o cursor na caixa de texto (ver imagem acima).

A árvore *Configurações* inclui os seguintes parâmetros:

- Seção
- Comprimento da barra
- Possível encurvadura para a barra (cf. colunas B, E e H)
- Encurvadura possível sobre o eixo y (cf. colunas C e D)
- Encurvadura possível sobre o eixo z (cf. colunas F e G)
- Encurvadura por flexão torção possível (cf. colunas I a K)

Nesta tabela, é possível determinar uma análise de encurvadura ou uma análise da encurvadura por flexão torção a ser realizada para a barra selecionada. Além disso, pode ajustar o *Coefficiente do comprimento efetivo* e o *Coefficiente do comprimento de empenamento* para os respectivos comprimentos. Se altera o coeficiente, é ajustado o comprimento de barra equivalente é ajustado automaticamente, e vice versa.



Também é possível definir o comprimento efetivo de uma barra numa caixa de diálogo separada. Para abrir a caixa de diálogo, clique no botão apresentado à esquerda. O botão encontra-se à direita por baixo da tabela superior da janela.

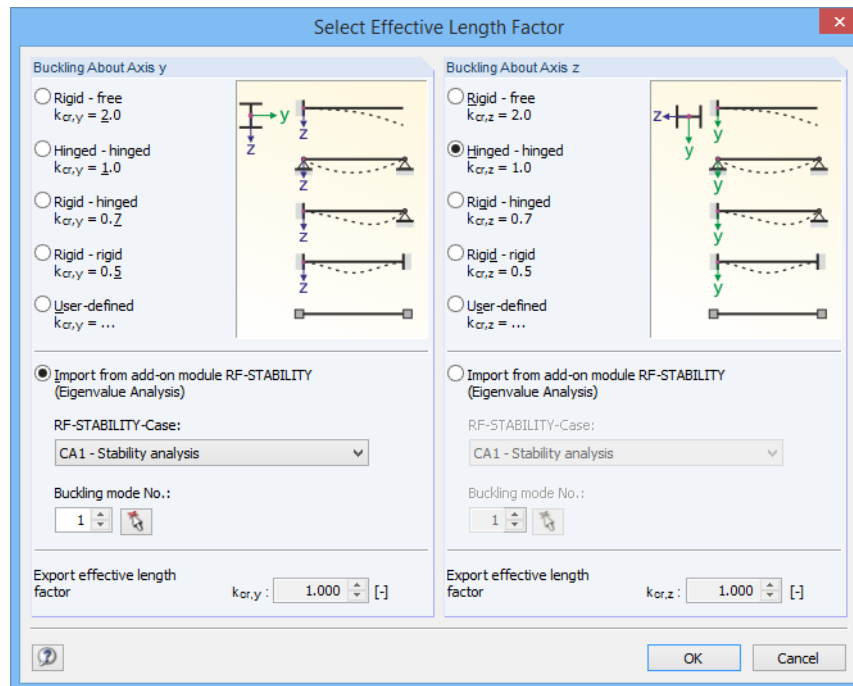


Figura 2.23: Caixa de diálogo *Selecione o coeficiente de comprimento efetivo*

Para cada direção, é possível selecionar um dos quatro modos de encurvadura de Euler ou define o coeficiente do comprimento de encurvadura como *Definido pelo utilizador*. Se a análise do valor próprio tiver sido realizada no módulo adicional RF-STABILITY, é possível importar o *Modo de encurvadura* do módulo adicional de forma a determinar o coeficiente.

Encurvadura possível

A análise de estabilidade para encurvadura por flexão e encurvadura por flexão torção requer forças de compressão a ser incluídas. Barras para as quais não é possível devido ao tipo de barra (por exemplo, tirantes, fundações elásticas, acoplamentos rígidos) são excluídos à priori da análise. As linhas correspondentes são desvanecidas e aparece uma nota na coluna *Comentário*.

As caixas de seleção *Encurvadura possível* na linha da tabela A e na árvore *Configurações* permite o controlo das análises de estabilidade: As caixas de seleção determinam onde as análises para uma barra são ou não realizadas.

Encurvadura sobre o eixo y ou eixo z

As colunas *Possível* controlam se existe uma encurvadura de risco sobre o eixo-y e/ou eio-z. Esses eixos representam o eixo local da barra, onde o eixo-y é o eixo da barra "principal" e o eixo-z é o "secundário". Pode livremente selecionar os coeficientes do comprimento efetivo $k_{cr,y}$ e $k_{cr,z}$ para a encurvadura sobre o eixo principal e secundário.



Pode verificar a posição dos eixos da barra no gráfico da seção na janela 1.3 *Seções* (ver [Figura 2.17](#), página 18). Para aceder à janela de trabalho do RFEM, clique no botão [Modo de visualização].

Nesta janela pode exibir os eixos locais da barra utilizando o atalho da barra ou o navegador *Mostrar*.

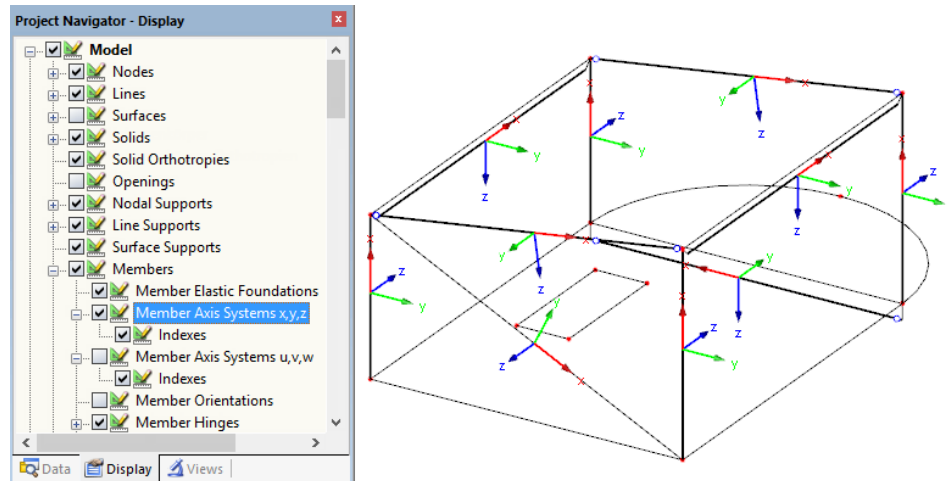
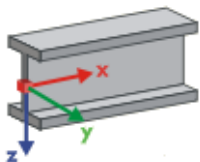


Figura 2.24: Selecionar o sistema de eixos da barra no navegador *Mostrar* do RFEM

Se a encurvadura é possível sobre um ou mesmo sobre os dois eixos da barra, pode introduzir os coeficientes do comprimento efetivo nas colunas C e F, bem como o comprimento efetivo nas colunas D e G. O mesmo é possível na árvore *Configurações*.

Para especificar o comprimento efetivo na janela de trabalho graficamente, clique em . Apenas pode clicar no botão se o cursor se encontrar na caixa de texto L_{cr} (ver Figura 2.22).

Quando especifica o coeficiente do comprimento de encurvadura k_{cr} , o programa determina o comprimento efetivo L_{cr} multiplicando o comprimento da barra L pelo coeficiente do comprimento efetivo. As caixas de texto k_{cr} e L_{cr} são interativas.



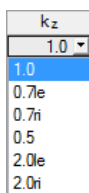
Definição dos eixos $parak_z$ e k_w

Encurvadura por flexão torção possível

A coluna H apresenta quais as barras que estão incluídas na análise da encurvadura por flexão torção.

Para determinar M_{cr} através do método do cálculo do valor próprio, é criada uma barra com quatro graus de liberdade no plano de fundo do programa. Pode definir esses graus de liberdade utilizando os coeficientes k_z e k_w . Os dois coeficientes determinam as condições de apoio para a encurvadura por flexão torção (por exemplo, uma restrição lateral e torcional)

Coefficiente comprimento efetivo k_z



O coeficiente k_z especifica a restrição lateral u_y e a restrição rotacional ϕ_z nas extremidades da barra.

$k_z = 1,0$ Restrição lateral u_y nas duas extremidades da barra

$k_z = 0,7esq$ restrição lateral u_y nas duas extremidades, restrição sobre z à esquerda.

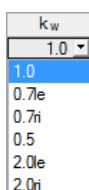
$k_z = 0,7dir$ restrição lateral u_y nas duas extremidades, restrição sobre z à direita

$k_z = 0,5$ restrição lateral u_y , restrição sobre z nas duas extremidades

$k_z = 2,0esq$ restrição lateral u_y , restrição sobre z à esquerda; extremidade livre à direita

$k_z = 2,0dir$ restrição lateral u_y , restrição sobre z à direita; extremidade livre à esquerda

Coefficiente comprimento de empenamento k_w



O Coeficiente k_w especifica a torção ϕ_x sobre o eixo da barra e a restrição de empenamento ω .

$k_w = 1,0$ restrição sobre x nas duas extremidades; livre para empenar nas duas extremidades

$k_w = 0,7esq$ restrição sobre x nas duas extremidades; restrição do empenamento à esquerda

$k_w = 0,7dir$ restrição sobre x nas duas extremidades; restrição de empenamento à direita

$k_w = 0,5$ restrição de torção e empenamento nas duas extremidades

$k_w = 2,0_{esq}$ restrição sobre x , restrição de empenamento ω à esquerda; livre para empenar à direita


$k_w = 2,0_{dir}$ restrição sobre x , restrição de empenamento ω à direita; livre para empenar à esquerda



As abreviações *esq* e *dir* referem-se ao lado esquerdo e direito. A abreviação *esq* descrevem sempre as condições de apoio no início da barra.




É possível modelar uma restrição lateral e torcional utilizando os coeficientes $k_z = 1,0$ (restrição lateral em y , torção livre sobre z) e $k_w = 1,0$ (restrição sobre x , livre para empenar). Desde que as barras internas do modelo querem apenas quatro graus de liberdade, a definição das outras condições de fronteira não são necessárias.

Se o comprimento lateral-torcional L_w ou o comprimento de encurvadura de torção L_T diferem do comprimento de barra ou de encurvadura, pode definir manualmente os comprimentos L_w e L_T nas colunas K e L ou determina-os graficamente utilizando o botão .

Comentário

Na última coluna, pode introduzir os seus próprios comentários para cada barra, por exemplo, para descrever os comprimentos de barra equivalente selecionados.

Configurar entrada de dados para as barras nº.

Na tabela *Configurações*, pode encontrar a caixa de seleção *Definir entrada para as barras nº.* Se seleciona a caixa de seleção, as configurações *posteriores* serão aplicadas às barras selecionadas ou a *Todas* as barras (pode introduzir os números das barras manualmente ou seleciona-las de forma gráfica utilizando o botão ). Esta opção é útil quando atribui diversas barras às mesmas condições de fronteira (ver também o blog DLUBAL Blog www.dlubal.com/blog/11115/).



Quando esta função, não é possível altera posteriormente as configurações já efetuadas anteriormente.

2.6 Comprimento fetivo - Conjuto de barras

Esta janela aparece apenas se tiver selecionado pelo menos um conjunto de barras para o dimensionamento na janela 1.1 *Dados gerais* (ver [Figura 3.2, página 46](#)) e selecionado o *Método da barra equivalente* para os conjuntos de barras na caixa de diálogo *Detalhes*. Neste caso, a janela 1.7 e 1.8 não aparecerão. De seguida, pode definir as restrições laterais intermédias através da utilização dos pontos de divisão na janela 1.4.

```
name: Details-Text
file: Details-Text
state: unknown
```

1.6 Effective Lengths - Sets of Members

Set No.	Buckling About Axis y				Buckling About Axis z			Lateral-Torsional and Torsional-Flexural Buckling				Comment	
	Buckling Possible	Possible	$k_{or,y}$	$L_{or,y}$ [m]	Possible	$k_{or,z}$	$L_{or,z}$ [m]	Possible	k_z	k_w	L_w [m]		L_T [m]
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	6.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	6.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	25.000	25.000	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	12.548	<input type="checkbox"/>	1.000	12.548	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	12.548	12.548	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	12.548	<input type="checkbox"/>	1.000	12.548	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	12.548	12.548	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	6.546	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	6.546	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	6.546	6.546	
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	7.094	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	7.094	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	7.094	7.094	

Settings - Set of Members No. 4

<input checked="" type="checkbox"/> Set of Members	Column Members 4
<input type="checkbox"/> Cross-Section	6 - HE A 140 Euronorm 53-62
Length	L 6.000 m
<input type="checkbox"/> Buckling Possible	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Buckling About Axis y Possible	<input checked="" type="checkbox"/>
Effective Length Factor	$k_{or,y}$ 1.000
Effective Length	$L_{or,y}$ 6.546 m
<input checked="" type="checkbox"/> Buckling About Axis z Possible	<input checked="" type="checkbox"/>
Effective Length Factor	$k_{or,z}$ 1.000
Effective Length	$L_{or,z}$ 6.546 m
<input checked="" type="checkbox"/> Lateral-Torsional Buckling Possible	<input checked="" type="checkbox"/>
Effective Length Factor (Restraint Type)	k_z 1.0
Warping Length Factor (Restraint Type)	k_w 1.0
LTB Length	L_w 6.546 m
Torsional Length	L_T 6.546 m
Comment	

Set input for sets No.: All

HE A 140 | Euronorm 53-62

[mm]

Figura 2.25: Janela 1.6 Comprimento efetivo - Conjunto de barras

O conceito da janela é idêntico ao da janela 1.5 *Comprimento efetivo - Barras*. Aqui pode introduzi os comprimentos efetivos para a encurvadura sobre os dois eixos principais do conjunto de barras, como descrito no [Capítulo 2.5](#).

2.7 Apoios nodais - Conjunto de barras

Esta janela aparece apenas se tiver selecionado pelo menos um conjunto de barras para o dimensionamento na janela 1.1 *Dados gerais*.

A análise de estabilidade para os conjuntos de barras é geralmente executada em concordância com o método geral de acordo com [1]Cláusula 6.3.4. Contudo, se seleciona o *Método de barra equivalente* para conjuntos de barras na caixa de diálogo *Detalhes* (ver [Figura 3.2, página 46](#)), a janela 1.7 não será exibida. Quando o utilizador define as restrições à flexão intermédias através da utilização dos pontos de divisão na janela 1.4.

```
name: Details-Text
file: Details-Text
state: unknown
```

1.7 Nodal Supports - Set of Members No. 5 - Set of Members 5

Support No.	A Node No.	B Support Rotation β [°]	C Lat. Support u_y	D Rotational ϕ_x	E Restraint ϕ_z	F Warping Restraint ω [kNm ³]	G Eccentricity e_x [mm]	H Eccentricity e_z [mm]	I Comment
1	29	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.418	200.0	0.0	Warp spring determined automatically
2	34	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.418	200.0	0.0	
3	38	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14.418	200.0	0.0	
4	32	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14.418	200.0	0.0	
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Settings - Node Support No. 29

<input checked="" type="checkbox"/> Set of Members		Set of Members 5
Cross-Section		5 - IPE 360 Euronorm 19-57
Node with Support	No.	29
Support Rotation	β	0.00 °
Lateral Support in Y	u_y	<input checked="" type="checkbox"/>
Restrained about X	ϕ_x	<input checked="" type="checkbox"/>
Restrained about Z	ϕ_z	<input checked="" type="checkbox"/>
Warping Restraint	ω	14.418 kNm ³
Eccentricity	e_x	200.0 mm
Eccentricity	e_z	0.0 mm
Comment		Warp spring determined automatically

Figura 2.26: Janela 1.7 Apoios nodais - Conjunto de barras



A tabela atual gere as condições de fronteira do conjunto de barras selecionado no navegador à esquerda.

Os apoios definidos no RFEM, tais como os apoios em Z de uma viga contínua, não são relevantes nesta janela. O programa importa as distribuições dos momentos e das forças de corte para a determinação do coeficiente de ampliação automaticamente do RFEM. Pode aqui definir diversas condições de apoio, que tem um impacto na falha de estabilidade (encurvadura, encurvadura por flexão torção).

Apoios nos nó inicial e final de um conjunto de barras estão predefinidos. Qualquer outro apoio, por exemplo como o resultado de uma barra adicional, tem de ser adicionado manualmente. É possível adicionar nós graficamente na janela de trabalho do RFEM, utilizando o botão



De acordo com [1], Cláusula 6.3.4 (1), pode dimensionar secções monossimétricas que são sujeitas a um carregamento único no seu plano principal. Para este método de análise, é necessário o conhecimento do coeficiente de ampliação $\alpha_{cr,op}$ de todo o conjunto de barras. De forma a determinar este coeficiente, o programa cria um pórtico plano com quatro graus de liberdade para cada nó.



A orientação dos eixos num conjunto de barras é importante para a determinação dos apoios nodais. O programa verifica a posição dos nós e define internamente os eixos dos apoios nodais

para a janela 1.7, de acordo com a [Figura 2.27](#) a [Figura 2.30](#). O botão [Sistema de coordenadas local] por baixo do modelo gráfico pode ajudar com a orientação. Com este botão, pode exibir o conjunto de barras numa vista parcial, onde os eixos são claramente visíveis (ver DLUBAL Blog www.dlubal.com/blog/9763).

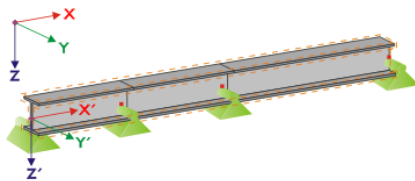


Figura 2.27: Sistema de coordenadas auxiliar dos apoios nodais - conjunto de barras reto

Se todas as barras de um conjunto de barras se encontra numa linha reta, como é apresentado na [Figura 2.27](#), o sistema de coordenadas local da primeira barra no conjunto de barras corresponde ao sistema de coordenadas equivalente de todo o conjunto de barras.

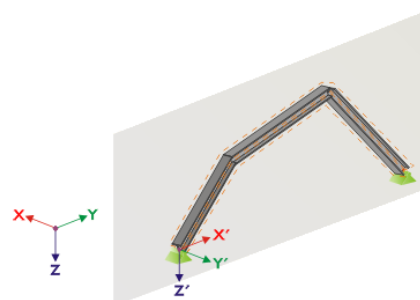


Figura 2.28: Sistema de coordenadas auxiliar dos apoios nodais - conjunto de barras no plano vertical

Se as barras de um conjunto de barras não se encontram numa linha reta, as barras tem de ser posicionadas no mesmo plano. Na [Figura 2.28](#), as barras encontram-se num plano vertical. Neste caso, o eixo-X' é horizontal e está orientado na direção do plano. O eixo-Y' também é horizontal e definido como perpendicular ao eixo-X'. O eixo-Z' está orientado perpendicularmente para baixo.

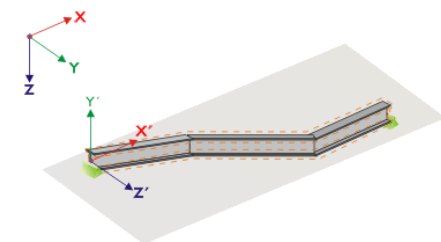


Figura 2.29: Coordenada auxiliar dos apoios nodais - conjunto de barras no plano horizontal.

Se as barras de um conjunto de barras encurvado se encontra no plano horizontal, o eixo-X' é definido paralelamente ao eixo-X do sistema de coordenadas global. Assim, o eixo-Y' está orientado na direção oposta ao eixo-Z global e o eixo-Z' está direcionado paralelamente ao eixo-Y global.

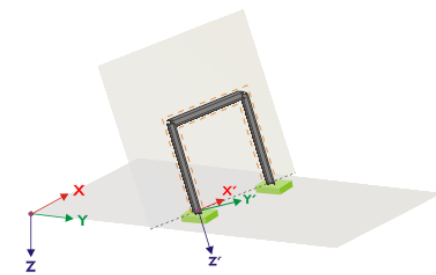


Figura 2.30: Sistema de coordenadas auxiliar dos apoios nodais - conjunto de barras no plano inclinado

A Figura 2.30 apresenta o caso geral de um conjunto de barras encurvado: As barras não se encontram numa linha reta, mas num plano inclinado. A definição do eixo- X' resulta da linha de interseção entre o plano inclinado e o plano horizontal. Assim, o eixo- Y' é perpendicular ao eixo- X' e direcionado perpendicularmente ao plano inclinado. O eixo- Z' é definido perpendicularmente ao eixo X' e ao eixo Y' .

Os botões abaixo do gráfico tem as seguintes funções:

Botão	Função
	Exibe o modelo ou o esquema estrutural
	Apresenta as barras numa representação 3D ou num modelo de linhas
	Apresenta o atual conjunto de barras ou o modelo completo
	Apresenta as barras irrelevantes do modelo modelo transparente ou opaco
	Apresenta o conjunto de barras no sistema de coordenadas local ou o modelo completo
	Apresenta a vista na direção do eixo X
	Apresenta a vista oposta ao eixo Y
	Apresenta a vista na direção do eixo Z
	Apresenta a vista isométrica

Tabela 2.4: Botões do gráfico da seção



Clique no botão [Editar elemento de ligação de empenamento e importa a mola de empenamento] para determinar a constante de uma mola de empenamento.

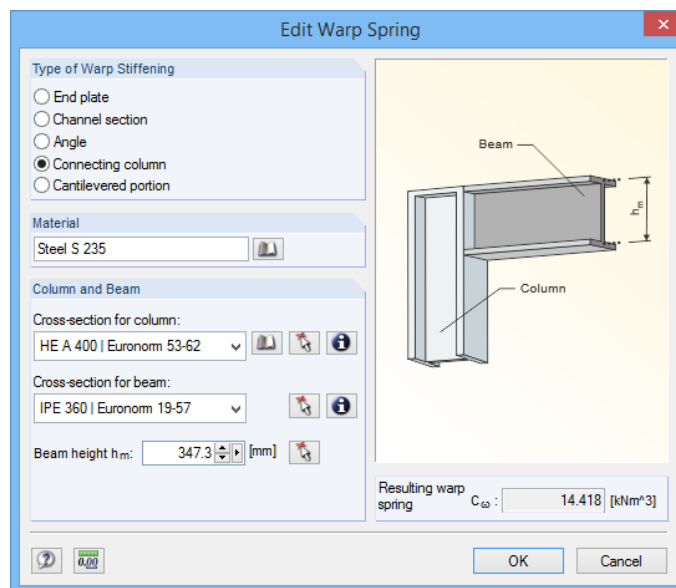


Figura 2.31: Caixa de diálogo *Editar mola de empenamento*

Na caixa de diálogo *Editar mola de empenamento*, é possível seleccionar um dos seguintes tipos de molas de empenamento:

- Extremidade da chapa
- Secção em U
- Ângulo
- Pilar de ligação
- Porção da consola



Pode seleccionar os materiais e as secções utilizando a lista e os botões da [biblioteca]. Clique no botão para a seleção gráfica no modelo do RFEM.

O RF-STEEL EC3 determina a *Mola de empenamento resultante* C_{ω} a partir dos parâmetros e depois importa o resultado na janela 1.7 através do clique em [OK].

2.8 Articulação de barra - Conjunto de barras

Esta janela aparece apenas se tiver selecionado pelo menos um conjunto de barras para o dimensionamento na janela *Dados gerais*. Nesta janela, pode definir as articulações para as barras e para os conjuntos de barras que não transferem os graus de liberdade bloqueados especificados na janela 1.7 como esforços internos para razões estruturais. Note, que as articulações duplas são geradas na interação com a janela 1.7.



A tabela gere os parâmetros de articulação de um conjunto de barras selecionado no navegador à esquerda.

Se está selecionado *Método de barra equivalente* na caixa de diálogo *Detalhes* (ver [Figura 3.2, página 46](#)). A janela 1.8 não é exibida. Pode definir a restrição lateral intermédia utilizando pontos de divisão na janela 1.4.

```
name: Details-Text
file: Details-Text
state: unknown
```

1.8 Member Hinges - Set of Members No. 2 - Column Members 2

Release No.	Member No.	Member Side	Shear Release V_y	Moment Release M_T	M_z [kNm/rad]	Warp Release M_{ω}	Comment
1	15	Start	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	13	End	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15.000	<input type="checkbox"/>	
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Settings - Member No. 13

<input type="checkbox"/> Set of Members	Column Members 2
Cross-Section	2 - IPE 300 Euronorm 19-57
Member with Release at the End	No. 13
Member Side	End
Shear Release in y-Direction	<input type="checkbox"/> V_y
Torsional Release	<input type="checkbox"/> M_T
Moment Release about z-Axis	15.000 kNm/rad M_z
Warping Release	<input type="checkbox"/> M_{ω}
Comment	

Set input for release No.:

All

Figura 2.32: Janela 1.8 *Articulações de barra - Conjunto de barras*

Member Side

- Start
- Start
- End
- Both

A coluna B mostra o *Lado da barra* no qual está localizada a articulação ou se existem articulações nos dois lados.

Nas colunas C a F, pode definir as constantes de articulação e mola para ajustar o modelo do conjunto de barras para as condições de apoio na janela 1.7.

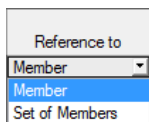
2.9 Dados do estado limite de utilização

Esta janela de entrada controla várias configurações para a verificação do estado limite de utilização. A janela está disponível, apenas se tiver introduzido os correspondentes dados no separador *Estado limite de utilização* na janela 1.1 (ver [Capítulo 2.1.2, página 10](#)).

1.9 Serviceability Data

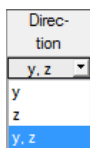
No.	A Reference to	B Set of Members No.	C Reference Length Manually	D Reference Length L [m]	E Direc- tion	F Precamber w _c [mm]	G Beam Type	H Comment
1	Set of Members	2	<input type="checkbox"/>	12.548	y, z	0.0	Beam	
2	Set of Members	5	<input type="checkbox"/>	7.094	y, z	0.0	Beam	
3	Member	82	<input type="checkbox"/>	7.094	y, z	0.0	Beam	
4	Member	81	<input checked="" type="checkbox"/>	4.546	y, z	0.0	Cantilever End Free	
5	Member	83	<input checked="" type="checkbox"/>	4.546	y, z	0.0	Cantilever End Free	
6	Member	15	<input type="checkbox"/>	6.274	y, z	0.0	Beam	
7	Member	16	<input type="checkbox"/>	6.274	y/u, z/v	0.0	Beam	
8	Member	25	<input type="checkbox"/>	6.274	y/u, z/v	0.0	Beam	
9	Member	26	<input type="checkbox"/>	6.274	y/u, z/v	0.0	Beam	
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								

Figura 2.33: Janela 1.9 *Dados do estado limite de utilização*



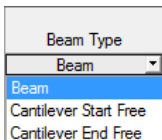
A coluna A apresenta se a deformação refere-se a barras simples, listas de barras, ou para conjunto de barras.

A coluna B apresenta os números das barras ou conjuntos de barras a ser dimensionados. Pode seleccionar os números graficamente na janela de trabalho do RFEM utilizando o botão . De seguida, aparece automaticamente o *Comprimento de referência* na coluna D. Pode definir os valores *Manualmente* se selecciona a caixa de selecção na coluna C.



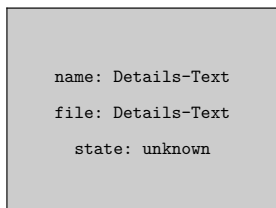
Na coluna E, pode definir a *Direção* principal para a análise de deformação. Pode seleccionar as direções dos eixos locais da barra y e z (ou u e v para secções assimétricas).

Na coluna F, pode considerar uma *Contra flecha* w_c.



Para a aplicação correta das deformações limiteé especialmente crucial o *Tipo de barra*. Na coluna G, pode especificar se uma viga ou uma consola é para ser dimensionada e qual é a extremidade que se encontra livre de apoio.

A configuração no separador *Utilização* da caixa de diálogo *Detalhes* indica se as deformações estão relacionadas com o sistema não deformado ou com as extremidades de barra deslocadas / conjunto de extremidades de barras (ver [Figura 3.3, página 48](#)).



2.10 Resistência ao fogo - Barras

Esta janela de entrada inclui os parâmetros de resistência. Apenas aparece se tiver introduzido os correspondentes dados no separador *Resistência ao fogo* da janela 1.1 (ver [Capítulo 2.1.3, página 11](#)).

No.	A Members No.	B Fire Exposure	C Fire Protection	D Protection Type	E Unit Mass ρ_p [kg/m ³]	F Thermal Conductivity λ_p [W/m*K]	G Specific Heat c_p [J/(kg*K)]	H Thickness d_p [mm]	I Comment
1	64	All Sides	<input type="checkbox"/>	Contour	300.00	0.12	1200.00	10.00	
2	81-83	3 Sides	<input checked="" type="checkbox"/>	Contour	300.00	0.12	1200.00	10.00	
3	39,59,60,109	3 Sides	<input checked="" type="checkbox"/>	Hollow	300.00	0.12	1200.00	10.00	
4	1,11	All Sides	<input type="checkbox"/>	Contour	300.00	0.12	1200.00	10.00	
5	21,31	All Sides	<input checked="" type="checkbox"/>	Contour	300.00	0.12	1200.00	10.00	
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Figura 2.34: janela 1.10 *Resistência ao fogo - Barras*

A coluna A contém as barras consideradas na verificação da resistência ao fogo. Clique em para selecionar graficamente as barras na janela de trabalho do RFEM.



É possível realizar análises de desempenho apenas para as barras selecionadas para o dimensionamento na janela 1.1 *Dados gerais* (ver [Figura 2.2, página 7](#)).

Fire Exposure

All Sides

3 Sides

All Sides

Protection Type

Contour

Contour

Hollow

Na coluna B, pode definir o número de lados da secção expostos ao fogo. A *Exposição ao fogo* afeta a determinação dos coeficientes de secção de acordo com [2], tabela 4.2 e tabela 4.3.

Se existe um revestimento para a resistência ao fogo, pode seleccionar a *Tipo de protecção* na coluna D. Pode escolher entre um revestimento, seguindo a geometria da secção (por exemplo, revestimento intumescente) e um revestimento tubular da secção. De seguida, pode especificar os parâmetros correspondentes nas colunas E a H.

Os parâmetros gerais para o dimensionamento da resistência ao fogo são geridos no separador *Resistência ao fogo* da caixa de diálogo *Detalhes* (ver [Figura 3.4, página 49](#)).

O dimensionamento da resistência ao fogo no RF-STEEL EC3 é descrito no artigo seguinte do blog da DLUBAL Blog:

www.dlubal.com/blog/1242

```
name: Details-Text
file: Details-Text
state: unknown
```

2.11 Resistência ao fogo - Conjuntos de barras

```
name: Details-Text
file: Details-Text
state: unknown
```

Aparece esta janela apenas se tiver selecionado pelo menos um conjunto de barras para dimensionamento na janela 1.1 *Dados gerais* e introduz os dados correspondentes no separador *Resistência ao fogo* da janela 1.1 (ver [Capítulo 2.1.3](#), página 11).

1.11 Fire Resistance - Sets of Members

No.	A Sets of Members No.	B Fire Exposure	C Fire Protection	D Protection Type	E Unit Mass ρ_p [kg/m ³]	F Thermal Conductivity λ_p [W/m*K]	G Specific Heat c_p [J/(kg*K)]	H Thickness d_p [mm]	I Comment
1	1	All Sides	<input type="checkbox"/>	Contour	300.00	0.12	1200.00	10.00	
2	2	3 Sides	<input checked="" type="checkbox"/>	Contour	300.00	0.12	1200.00	10.00	
3	3.4	All Sides	<input checked="" type="checkbox"/>	Hollow	300.00	0.12	1200.00	12.00	
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Figura 2.35: Janela 1.1 *Resistência ao fogo - Conjuntos de barras*

O conceito da janela é similar ao da janela anterior 1.10 *Resistência ao fogo - Barras*. Pode introduzir os parâmetros da proteção contra o fogo dos conjuntos de barras correspondentes, como descrito no [Capítulo 2.10](#).

2.12 Parâmetros - Barras

Esta janela permite introduzir as especificações para as barras que são apoiadas lateralmente por placas ou madres (ver [6], Cláusula 10.1 e 10.3).

A secção superior lista as barras seleccionadas para dimensionamento em conjunto com os parâmetros relevantes para o dimensionamento da encurvadura por flexão torção. Esses parâmetros interagem com as especificações na secção abaixo *Configurações - Barras nº.*

À direita da tabela *Configurações*, pode ver informação ou opções de selecção na forma de gráficos, facilitando a definição das condições de fronteira. As vistas variam dependendo no parâmetro atualmente seleccionado.

1.12 Parameters - Members

Member No.	A Shear Panel	B Rotational Restraint	C Cross-Sectional Area	D Comment
1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Purlin
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trapezoidal sheeting
14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trapezoidal sheeting
15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Purlin
27	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Settings - Member No. 14

Cross-Section	1 - IPE 400 Euronorm 19-57	
<input checked="" type="checkbox"/> Shear panel	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Shear panel type	Trapezoidal sheeting	
Shear panel length	I_s	20.000 m
Beam spacing	s	5.000 m
Position on section	On upper flange	
<input type="checkbox"/> Trapezoidal sheeting description	FI + 100/275 - 1.00	
Shear panel coefficient	K_1	0.190 m/kN
Shear panel coefficient	K_2	16.560 m ² /kN
Fastening arrangement	Every Rib	
<input type="checkbox"/> Rotational restraint	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Type of rotational restraint	Continuous (e.g. Sheeting)	
<input type="checkbox"/> Materials	Steel S 235	
Modulus of Elasticity	E	21000.00 kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Component description	FI + 100/275 - 1.00	
Sheeting thickness	t	1.000 mm
Position of sheeting	Positive position	
Second moment of area	I_s	198.00 cm ⁴ /m
Distance of ribs	b_R	275.0 mm

Trapezoidal sheeting shear panel

Figura 2.36: Janela 1.12 Parâmetros - Barras

Abaixo da tabela *Configurações*, existe a caixa de diálogo *Configurar entrada para as barras nº.* Se seleccionado, as configurações posteriores aplicam-se às barras seleccionadas ou a *Todas* as barras (pode introduzir os números de barras manualmente ou selecciona-los utilizando o botão). Esta opção é útil quando atribui diversas barras com as mesmas condições de fronteira.

Na coluna *Comentário*, pode introduzir comentários definidos pelo utilizador para cada barra, por exemplo para descrever os parâmetros relevantes da barra para a encurvadura por flexão torção.

Secção

Esta coluna apresenta a descrição da secção. Para uma barra de secção variável, é exibida a descrição da secção inicial e final.

Painel de corte

Para introduzir os parâmetros do painel, selecione a caixa na coluna A ou na tabela *Configurações*.

Pode seleccionar o tipo de painel de corte na lista pendente.

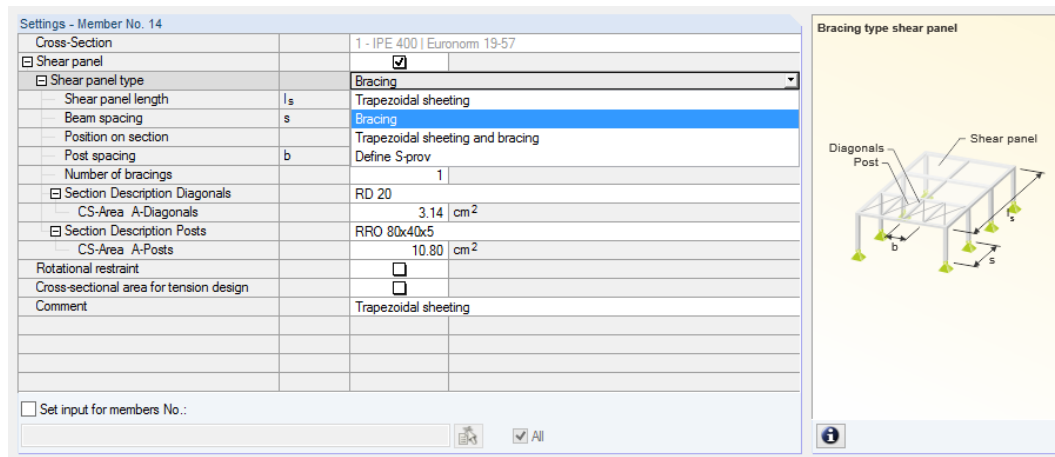
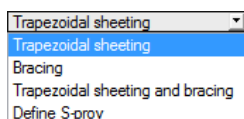


Figura 2.37: Selecionar o tipo de painel de corte

Chapa trapezoidal

A aplicação de um apoio lateral contínuo é descrita em EN 1993-1-1 [1], Anexo BB.2.1 e EN 1993-1-3 [6], Cláusula 10.1.5.1.

Para determinar a resistência do painel de corte de uma chapa trapezoidal (chapa ondulada), as especificações seguintes são necessárias (ver Figura 2.36):

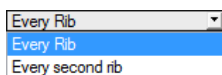
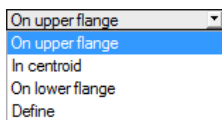
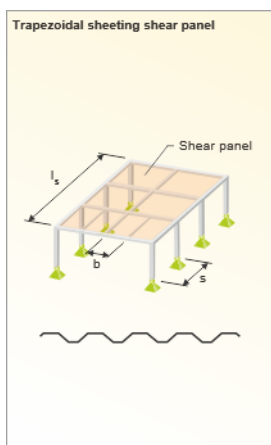
- Comprimento do painel de corte l_s
- Espaçamento de viga s
- Posição da chapa trapezoidal na secção
- Descrição da chapa trapezoidal
- Disposição do elemento de ligação

Pode introduzir o **Comprimento do painel de corte** e o **Espaçamento da viga** manualmente ou seleciona-os graficamente pelo clique . Este botão torna-se ativo quando o cursor é colocado sobre uma dessas caixas de texto. De seguida, pode seleccionar dois pontos de ajuste na janela de trabalho do RFEM definindo o painel de corte ou o espaçamento da viga.

A **Posição na secção** da chapa trapezoidal pode ser considerada de diferentes formas através da lista apresentada à esquerda. O ponto de torção seleccionado D é assinalado no gráfico da secção, mesmo para entradas definidas pelo utilizador. A distância d é relativa ao centro geométrico aqui; o sinal resulta do eixo z da secção.

Para aceder à biblioteca de chapas onduladas, clique no botão exibido após clicar na caixa de texto da descrição **Chapa trapezoidal** (ver Figura 2.36). A biblioteca de secções do RFEM aparece (ver Figura 2.38), onde pode seleccionar a chapa trapezoidal através do duplo clique ou do clique em [OK]. Assim, os **coeficientes do painel de corte** K_1 e K_2 (de acordo com o certificado de aprovação) são introduzidos automaticamente na tabela *Configurações*. A largura básica b da chapa trapezoidal não tem influência nesses coeficientes.

A **Disposição do elemento de ligação** da secção trapezoidal afetam a resistência ao corte que as chapas conferem à viga. Se a chapa trapezoidal for reforçada apenas a cada segunda nervura, a resistência ao corte a ser aplicada é reduzida pelo coeficiente de 5.



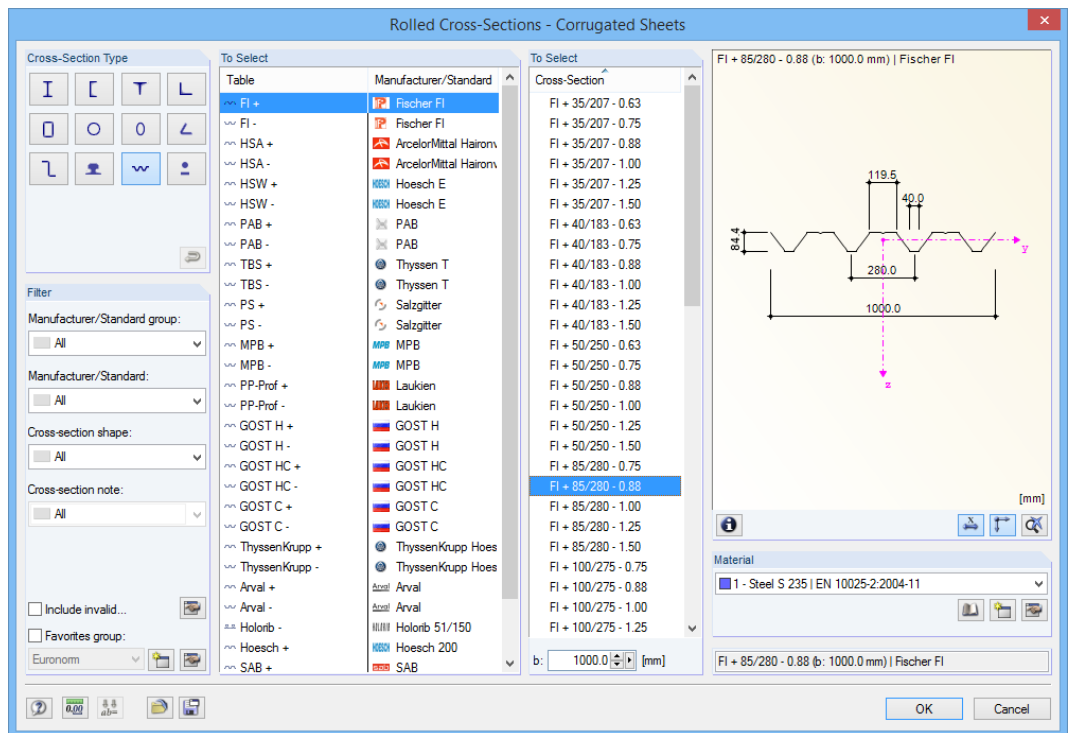


Figura 2.38: Biblioteca de seções *Secções laminadas - Chapas onduladas*

Contraventamento

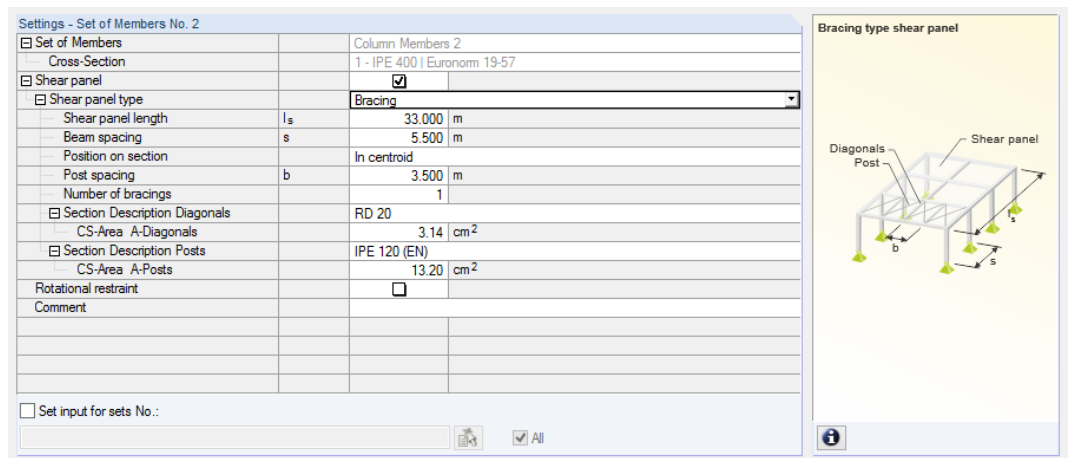
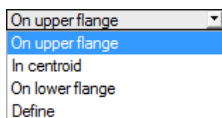


Figura 2.39: Tipo de painel de corte *Contraventamento*

Para determinar a resistência do painel de corte providenciado, são necessárias as seguintes especificações:

- Comprimento do painel de corte l_s
- Espaçamento de vigas
- Posição do contraventamento na secção
- Post spacing b
- Número de contraventamentos
- Secção das diagonais
- Section of posts

Pode introduzir o **Comprimento do painel de corte**, o **Espaçamento de vigas**, e o **Espaçamento de pilares** manualmente ou seleciona-los diretamente no gráfico através do clique em . Este botão torna-se disponível quando o cursor é colocado numa dessas caixas de texto. De seguida, pode selecionar dois pontos na janela de trabalho do RFEM, definindo o painel de corte ou o espaçamento.



O contraventamento **Posição na secção** pode ser considerado de diferentes formas utilizando a lista apresentada à esquerda. O ponto de torção selecionado D é assinalado no gráfico da secção, mesmo para entradas definidas pelo utilizador. A distância d é reativa ao centro geométrico aqui; o sinal dos resultados do eixo z da secção.

É possível definir facilmente a área da secção das diagonais e pilares ao selecionar a **Descrição da seleção** na biblioteca do RFEM. Para aceder à biblioteca, clique no botão no final da caixa de texto. De seguida, a **CS-Área** é importada automaticamente. Também é possível introduzir este valor diretamente.

Chapa trapezoidal e contraventamento

Settings - Set of Members No. 2		Column Members 2
Set of Members		1 - IPE 400 Euronorm 19-57
Cross-Section		
Shear panel		<input checked="" type="checkbox"/>
Shear panel type		Trapezoidal sheeting and bracing
Shear panel length	l_s	33.000 m
Beam spacing	s	5.500 m
Position on section		In centroid
Trapezoidal sheeting description		FI + 85/280 - 1.00
Shear panel coefficient	K_1	0.170 m/kN
Shear panel coefficient	K_2	8.710 m ² /kN
Fastening arrangement		Every second rib
Post spacing	b	3.500 m
Number of bracings		1
Section Description Diagonals		RD 20
CS-Area A-Diagonals		3.14 cm ²
Section Description Posts		IPE 120 (EN)
CS-Area A-Posts		13.20 cm ²
Rotational restraint		<input type="checkbox"/>
Comment		

Bracing/sheeting type shear panel

Figura 2.40: Tipo de painel de corte *Chapa trapezoidal e contraventamento*

Para determinar a resistência do painel de corte providenciada devido à chapa trapezoidal e ao contraventamento, são necessárias as seguintes especificações.

- Comprimento do painel de corte l_s
- Espaçamento da viga s
- Posição do painel de corte na secção
- Descrição da chapa trapezoidal
- Disposição dos elementos de ligação
- Espaçamento dos pilares b
- Número de contraventamentos
- Secção das diagonais
- Secção dos pilares

Esta forma de definir o painel de corte combina os parâmetros das opções acima mencionadas *Chapa trapezoidal e Contraventamento*.

Definir S-prov

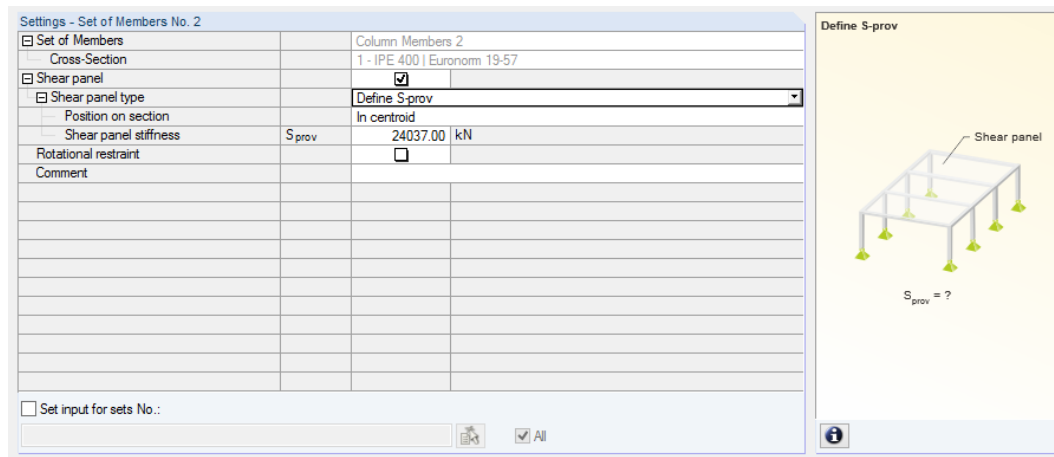
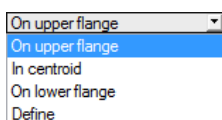


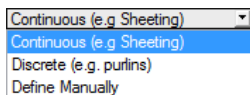
Figura 2.41: Definir a resistência do painel de corte S_{prov}



Também é possível introduzir diretamente o valor da **Resistência do painel de corte** S_{vorh} . Além disso, tem de especificar a **Posição na secção** do painel de corte.

Restrição rotacional

Para introduzir os parâmetros da restrição de rotação, selecione a caixa de seleção na coluna B ou na tabela *Configurações*.



Pode seleccionar o tipo de restrição rotacional na lista pendente.

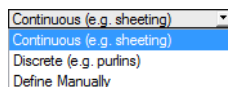
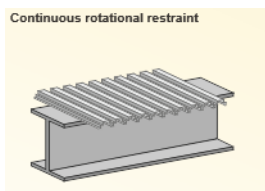


Figura 2.42: Selecionar o tipo de restrição rotacional

Restrição rotacional contínua

De forma a determinar os componentes de rigidez de uma chapa trapezoidal e da deformação da ligação, são necessárias as seguintes especificações (ver Figura 2.42):

- Materiais e descrição da chapa trapezoidal
- Método da determinação $C_{D,A}$
- Espaçamento da vigas
- Afeta a viga contínua



Para aceder à biblioteca de chapas onduladas, clique no botão apresentado após clicar na caixa de texto **Componente de descrição**. Aparece a biblioteca de secções do RFEM (ver Figura 2.38, página 38), onde pode seleccionar uma chapa ondulada através do duplo clique ou do clique em [OK]. Os parâmetros da secção *Espessura da chapa* t , *Posição da chapa*, *Segundo momento da área* I_s efetiva para a direção descendente do carregamento, *Distância entre nervuras* b_R (largura da ondulação) e *Largura do banzo* b_T são importados automaticamente.

No caso da restrição de rotação contínua, tem de considerar a deformação da ligação. Pode especificar a rigidez da mola de rotação C_{100} para os casos de carga e as combinações de carga individuais na entrada **Método de determinação** $C_{D,A}$, ou o programa determina-o de acordo com [6], Tabela 10.3. Para o cálculo automático, clique no botão apresentado após clicar na caixa de texto da linha C_{100} . Aparece uma caixa de diálogo, onde pode seleccionar o coeficiente apropriado,


Import of Coefficient C-100 from Table 10.3, EN 1993-1-3

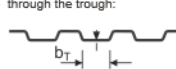
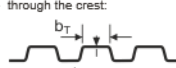
Positioning of sheeting		Sheet fastened through		Positioning of sheeting		Washer diameter [mm]	C ₁₀₀ [kNm/m]	b _{T,max} [mm]
Positive 1)	Negative 1)	Trough	Crest	e=b _R	e=2b _R			
For gravity loading:								
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		22	5.2	40
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	22	3.1	40
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	K _s	10.0	40
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	K _s	5.2	40
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		22	3.1	120
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	22	2.0	120
For uplift loading:								
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		16	2.6	40
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	16	1.7	40

Note: Select by mouse the required lines in the table and import by clicking [OK] the coefficient.

Key:
 b_R is the corrugation width
 b_T is the width of the sheeting flange through which it is fastened to the purlin.

K_s indicates a steel saddle washer as shown below with t ≥ 0.75 mm



Sheet fastened:
 - through the trough:

 - through the crest:


The values in this table are valid for:
 - sheet fastener screws of diameter: ∅ = 6.3 mm;
 - steel washers of thickness: t_w ≥ 1.0 mm;
 - sheeting of nominal core thickness: t ≥ 0.66 mm;


1) The position of the sheeting is positive when the narrow flange is on the purlin and negative when the wide flange is on the purlin.

C₁₀₀
 3.1 [kNm/m]

OK Cancel

Figura 2.43: Caixa de diálogo *Importação do coeficiente C-100 da tabela 10.3, EN 1993-1-3*

Cliquem em [OK] para atribuir este valor a todos os casos e combinações de carga selecionados para dimensionamento. De forma a atribuir o coeficiente por casos de carga, tem de abrir a caixa de diálogo *Importação do coeficiente* através das caixas de texto C₁₀₀ dos casos e combinações de carga individuais.

Também é possível definir o **Espaçamento de vigas** manualmente ou graficamente através do clique no botão . Para isto, cliquem em dois nós na janela de trabalho do RFEM, definindo a distância entre as vigas.

End panel

End panel

Internal panel

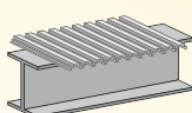
O **Efeito da viga contínua** tem um impacto sobre o coeficiente k da restrição rotacional C_{D,C}, definível através da lista nesta linha (*Extremidade do painel*: $k = 2$, *Painel interno*: $k = 4$).

Restrição rotacional discreta

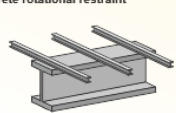
Settings - Member No. 11

Cross-Section	2 - IPE 300 Euronorm 19-57	
Shear panel	<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Rotational restraint	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Type of rotational restraint	Discrete (e.g. purlins)	
<input type="checkbox"/> Materials	Steel S 235	
Modulus of Elasticity	E	21000.00 kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Cross-section description	IPE 180 (EN)	
Second moment of area	I _y	1320.00 cm ⁴
Purlin spacing	e	3.250 m
Beam spacing	s	5.200 m
Continuous beam effect	End panel	
Cross-sectional area for tension design	<input type="checkbox"/>	
Comment		

Continuous rotational restraint



Discrete rotational restraint



Set input for members No.: All

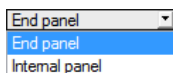
Figura 2.44: Tipo de restrição rotacional *discreta*

De forma a determinar a resistência de um componente a partir de pilares isolados (por exemplo madres), são necessárias as seguintes especificações.

- Materiais e descrição da secção
- Espaçamento da madree
- Espaçamento da viga s
- Efeito da viga contínua

O *material* e *Descrição da secção* podem ser selecionados na biblioteca do RFEM utilizando o botão . Selecione a caixa de texto relevante e clique nela.

Pode introduzir o *Espaçamento de madre* e o *Espaçamento de viga* manualmente ou graficamente através do clique no botão . Para isto, selecione dois nós definindo o espaçamento das madres ou vigas através do clique sobre a janela de trabalho do RFEM.



O *Efeito da viga contínua* tem um impacto no coeficiente K da restrição rotacional $C_{D,C}$, definível através da lista nesta linha (*Extremidade do painel*: $k = 2$, *Painel interno*: $k = 4$).

Define manualmente

Settings - Member No. 2			
Cross-Section		1 - IPE 400 Euronorm 19-57	
Shear panel		<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Rotational restraint		<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Type of rotational restraint		Define Manually	
<input type="checkbox"/> Total Rotational Spring Stiffness	C_D	18.50	kNm/m
Cross-sectional area for tension design		<input type="checkbox"/>	
Comment			

Figura 2.45: Resistência da mola rotacional - *Define manualmente*

Também é possível introduzir a **Resistência total da mola rotacional** C_D existente.

Área da secção para o cálculo da tração

Settings - Member No. 52		
Cross-Section		8 - RO 101.6x5 (Cold Formed)
Shear panel		<input type="checkbox"/>
Rotational restraint		<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Cross-sectional area for tension design		<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Start (x=0 m)		8 - RO 101.6x5 (Cold Formed)
Cross-Sectional Area	A	15.2 cm ²
Net Cross-Sectional Area	A _{net}	12.70 cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> End (x=l)		8 - RO 101.6x5 (Cold Formed)
Cross-Sectional Area	A	15.2 cm ²
Net Cross-Sectional Area	A _{net}	15.20 cm ²
Comment		
<input type="checkbox"/> Set input for members No.:		

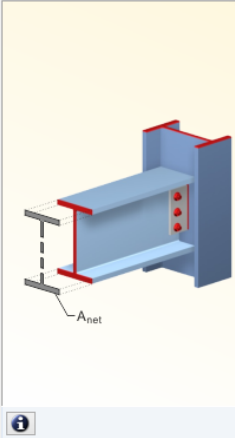


Figura 2.46: área da secção para o cálculo da tração

De acordo com [1], Cláusula 6.23, os buracos para os elementos de ligação são considerados no cálculo da tensão de tração. Pode definir a **Área da secção líquida** A_{net} separadamente para *Início* e *Fim* da barra - elementos de ligação são geralmente posicionados nessas duas posições x. A tabela também mostra a área de secção bruta A.

2.13 Parâmetros - Conjuntos de barras

Esta janela aparece apenas se tiver seleccionado pelo menos um conjunto de barras para dimensionamento na janela 1.1 *Dados gerais*.

1.13 Parameters - Sets of Members			
Set No.	A		C
	Shear Panel	Rotational Restraint	
1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Comment
2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Settings - Set of Members No. 1		
<input checked="" type="checkbox"/> Set of Members		Ceiling beam B-B
Cross-Section		3 - ICU IPE 300 + IPE 300-HMAX Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57
Shear panel		<input type="checkbox"/>
Rotational restraint		<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Type of rotational restraint		Continuous (e.g. Sheeting)
<input checked="" type="checkbox"/> Materials		Steel S 235
Modulus of Elasticity	E	21000.00 kN/cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Component description		HSW - E 135 - 1.00
Sheeting thickness	t	1.000 mm
Position of sheeting		Negative position
Second moment of area	I _s	387.00 cm ⁴ /m
Distance of ribs	b _R	310.0 mm
Width of the flange	b _T	43.0 mm
<input checked="" type="checkbox"/> Method of determining C _{D,A}		According to EN 1993-1-3, Table 10.3
<input checked="" type="checkbox"/> Spring stiffness	C ₁₀₀	kNm/m
RC1		10.00 kNm/m
Beam spacing	s	6.000 m
Continuous beam effect		End panel
Comment		
<input type="checkbox"/> Set input for sets No.:		

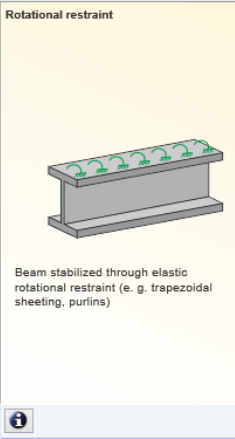


Figura 2.47: Janela 1.13 Parâmetros - Conjuntos de barras

O conceito desta janela é idêntico à anterior janela 1.13 *Parâmetros - Barras*. Nesta janela, pode definir os parâmetros dos painéis de corte e as restrições rotacionais para cada conjunto de barras como descrito no [Capítulo 2.12](#).

3 Cálculo

3.1 Configuração detalhada

```
name: Details-Text
file: Details-Text
state: unknown
```

Antes de iniciar o cálculo, é recomendado verificar os detalhes do dimensionamento. Pode aceder à correspondente caixa de diálogo em todas as janelas do módulo adicional através da utilização do botão [Detalhes].

A caixa de diálogo *Detalhes* tem os seguintes separadores:

- Estado limite último
- Estabilidade
- Estado limite de utilização
- Resistência ao fogo
- Outro

3.1.1 Estado limite último

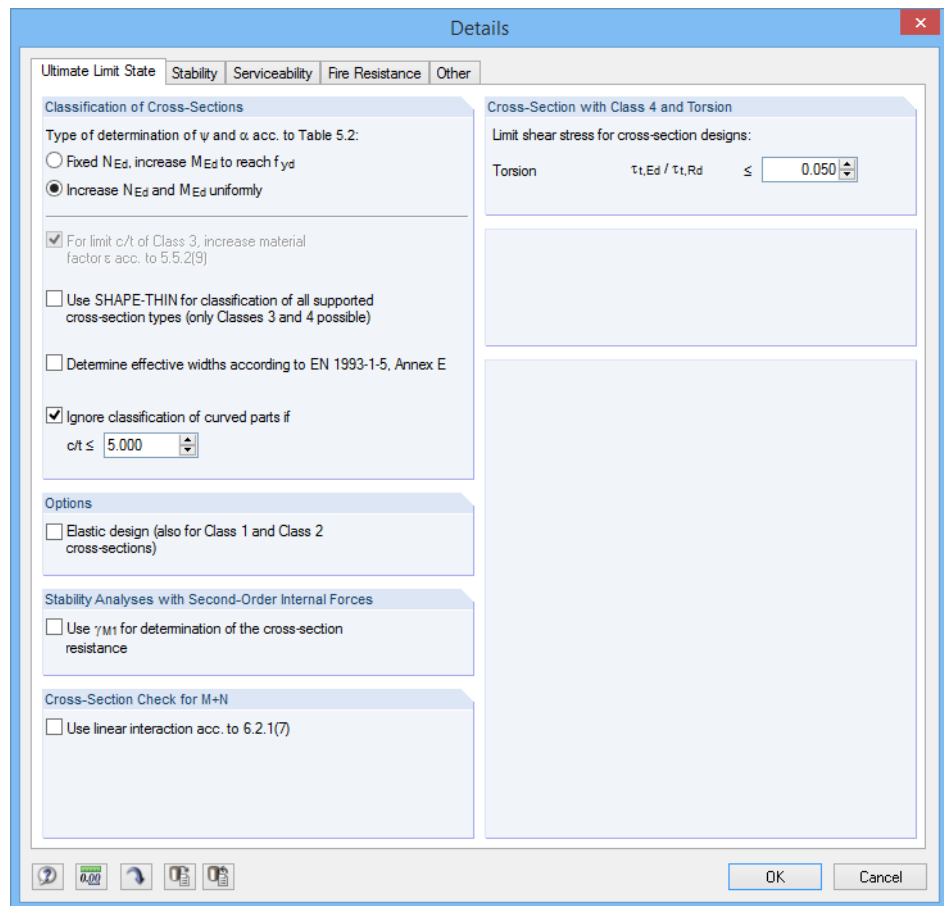


Figura 3.1: Caixa de diálogo *Detalhes*, separador *Estado limite último*

Classificação das secções

Se ocorrerem tensões de compressão e flexão em conjunto numa secção, pode determinar a relação da tensão de deformação ψ em relação ao coeficiente da zona de compressão α de duas formas (o coeficiente ψ é necessário para a determinação da relação-c/t apropriada de acordo com [1], Tabela 5.2):

- N_{Ed} Fixo N_{Ed} , aumenta M_{Ed} até atingir f_{yd}
Apenas é aumentada a componente da tensão de flexão até atingir a tensão de cedência.
- Aumento N_{Ed} e M_{Ed} uniformemente
As componentes de tensão de flexão a partir da força axial e da flexão são aumentadas uniformemente até ser atingida a tensão de cedência f_{yd} .

Aparece a caixa de seleção *Para o c/t limite da Classe 3, aumenta o coeficiente do material ε de acordo com 5.5.2(9)* se a análise de estabilidade tiver sido desativada no separador *Estabilidade*. Isto é baseado nas especificações para a classificação em [1], Cláusula 5.5.2 (10). Se a análise de estabilidade está desativada pode considerar as secções classificadas como Classe 4 para secções de Classe 3 através do coeficiente de aumento ε .

Se seleciona a caixa de seleção *Utilização do SHAPE-THIN para a classificação de todos os tipos de secções suportados*, as propriedades efetivas das secções da Classe de secções 4 serão calculadas de acordo com o método utilizado no SHAPE-THIN. Para as secções classificadas como 'Geral' (isto é, as secções que não pertencem à tabela de secções laminadas nem à tabela de secções parametrizadas), a classificação será realizada geralmente com o SHAPE-THIN. Pode atribuir essas secções apenas de forma elástica como secções de Classe e ou Classe 4.

Opcionalmente, é possível *Determinar a largura efetiva de acordo com EN 1995.1-5, Anexo 5.* [7], o Anexo E descreve os métodos alternativos para determinar a área efetiva das secções para as tensões abaixo da tensão de cedência (ver também o blog DLUBAL Blog www.dlubal.com/blog/5535).

A relação largura/espessura relevante para a classificação pode causar problemas com a secção no caso de elementos curvos do SHAPE-THIN. Utilizando a caixa de seleção *Ignorar classificação das partes curvas*, é possível excluir pequenos arcos côncavos a partir da classificação uma vez definida pelo utilizador c/t-relação é inferior ao limite (ver BLOG DLUBAL Blog www.dlubal.com/blog/11166). As nervuras longitudinais ou a inclinação das chapas finas não tem influência no dimensionamento.

Opções

Secções atribuídas à Classe 1 ou 2 são dimensionadas graficamente no RF-STEEL EC3. Se não pretende efetuar um dimensionamento plástico, pode também ativar o *Dimensionamento elástico* para essas classes de secções.

Análise de estabilidade com esforços internos de segunda ordem

Se as análises de estabilidade não são realizadas com o método da barra equivalente de acordo com [1], cláusula 6.3, mas com esforços de segunda ordem, pode utilizar esta caixa de seleção para especificar se utiliza o coeficiente parcial de segurança γ_{M1} (em vez de γ_{M0}) para o dimensionamento da secção.

O coeficiente parcial de segurança γ_{M1} é importante para a determinação da resistência no caso de instabilidade (verificação do componente estrutural). Pode verificar e/ou alterar o coeficiente de segurança na caixa de diálogo *Configuração do anexo nacional* (ver [Capítulo 2.10, página 12](#)).

```
name: Nat-Annex-Text
file: Nat-Annex-Text
state: unknown
```

Verificação da secção para M+N

A caixa de seleção *Utilizar interação linear de acordo com 6.2.1 (7)* determina se utiliza a adição linear das relações de utilização para os momentos e forças axiais de acordo com [1] Eq. (6.2), ou Eq. (6.44) como aproximação conservativa para a verificação da resistência da secção.

3.1.2 Estabilidade

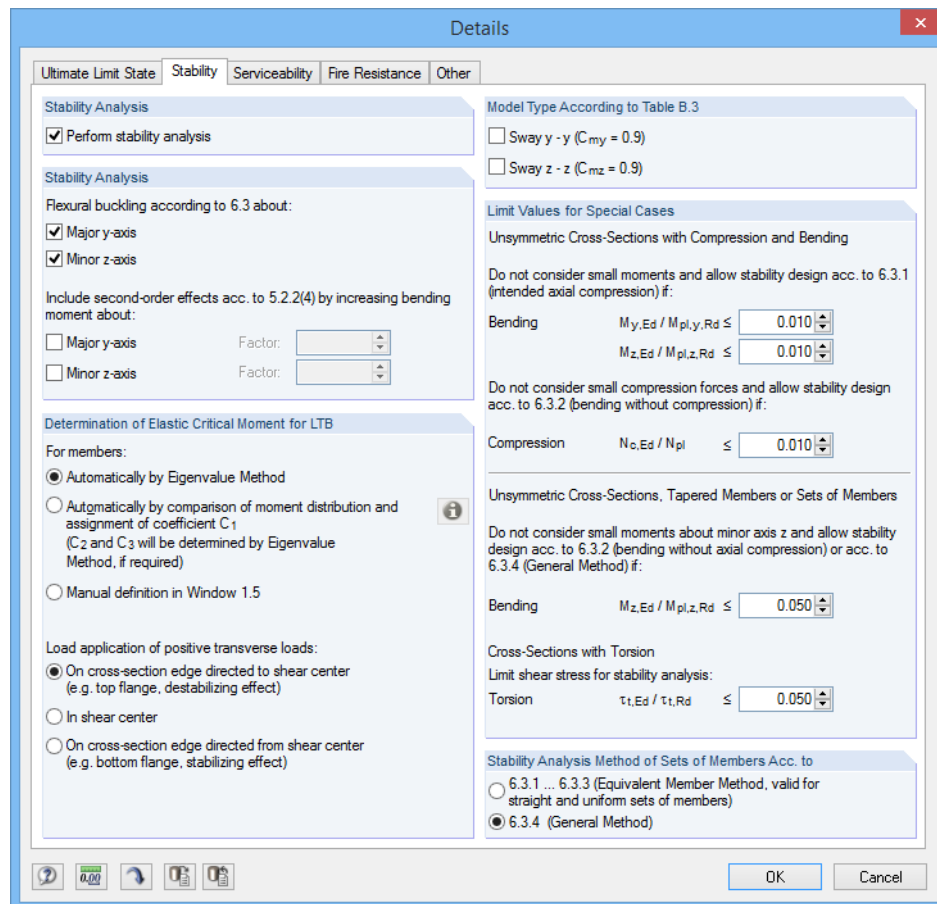


Figura 3.2: Caixa de diálogo *Detalhes*, separador *Estabilidade*

Análise de estabilidade

A caixa de seleção *Realiza análise de estabilidade* controla se executa a análise de estabilidade além do dimensionamento da secção. Se desselecciona a caixa de seleção, as janelas 1.4 a 1.8 não aparecerão.

Se selecciona a caixa de seleção, define os eixos relevantes para a determinação da *Encurvadura por flexão de acordo com 6.3* do [1].

Além disso, é possível *incluir os efeitos da análise de segunda de acordo com 5.2.2(4) aumentando o momento de flexão sobre* um eixo que define manualmente. Desta forma, quando dimensionar, por exemplo um pórtico com o modo de encurvadura determinante representado pelo deslocamento lateral, pode determinar os esforços internos de acordo com a análise estática linear e aumentá-los com os coeficientes apropriados. O aumento do momento de flexão não tem qualquer efeito na análise de encurvadura por flexão de acordo com [1], Cláusula 6.3.1, a qual é realizada através da utilização das forças axiais.

Determinação do momento elástico crítico para LTB

Por defeito, o RF-STEEL EC3 determina o momento elástico crítico para a encurvadura por flexão torção *Automaticamente através do método do valor próprio*. Para o cálculo, o programa utiliza o modelo de barra finita para determinar M_{cr} em relação aos seguintes itens.

- Dimensões da secção bruta
- Tipo de carga e posição do ponto de aplicação de carga
- Distribuição efetiva dos momentos
- Restrições laterais (por condições de apoio)
- Condições de fronteira efetivas

é possível especificar os graus de liberdade por fatores k_z e k_w (ver [Capítulo 2.5, página 23](#)).



Também é possível determinar o momento elástico crítico *Automaticamente pela comparação da distribuição do momento* e atribuir o coeficiente C_1 . Clique no botão [Info], para abrir a correspondente caixa de diálogo e ver as distribuições da carga e do momento. Os coeficientes C_2 e C_3 serão determinados automaticamente através do Método do valor próprio, se necessário.

H	I	J	K	L
Lateral-Torsional and Torsional-Flexural Buckling				
Possible	k_z	M_{cr} [kNm]	L_w [m]	L_T [m]
<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	100.00 →	6.059	6.059
<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	100.00	3.843	3.843
<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	100.00	6.700	6.700
<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	100.00	6.700	6.700

M_{cr} definido pelo utilizador

Selecione a *Definição manual na janela 1.5* para alterar o nome da coluna J para M_{cr} , por isso pode introduzir diretamente o momento elástico crítico para LTB.

Se existem *cargas transversais*, é necessário definir a posição, onde essas forças atuam na secção: Dependendo do ponto de aplicação da carga, as cargas transversais podem ser estabilizadoras ou desestabilizadoras e assim influenciar o momento elástico crítico.

Tipo de modelo de acordo com a tabela B.3

De acordo com [1], Anexo B, Tabela B.3, o coeficiente do momento uniforme equivalente para os componentes estruturais com encurvadura na forma de deformação lateral devem ser tidos como $C_{my} = 0,9$ ou $C_{mz} = 0,9$. As duas caixas de seleção não se encontram selecionadas por defeito. Se seleciona as caixas de seleção, o programa determina os coeficientes C_{my} e C_{mz} de acordo com o critério definido na Tabela B.3.

Os valores limite para casos especiais

Para dimensionar secções assimétricas com a compressão axial pretendida de acordo com [1], cláusula 6.3.1, pode negligenciar os *momentos pequenos* sobre os eixos principal e secundário utilizando as configurações definido nesta secção da caixa de diálogo.

Para a verificação pura da flexão de acordo com [1], Cláusula 6.3.2, pode negligenciar de forma idêntica *pequenas forças de compressão*, onde são definidas as relações limite de $N_{c,Ed} / N_{pl}$.

De acordo com [1], Cláusula 6.3.4, o dimensionamento de *Secções assimétricas, barras de secção variável ou Conjuntos de barras* apenas são possíveis para a flexão uniaxial no plano principal e/ou compressão. De forma a negligenciar os momentos pequenos sobre o eixo menor, é possível definir um limite para as relações de momentos $M_{z,Ed} / M_{pl,z,Rd}$.

A *torção* pretendida não é especificada de forma clara em [1]. Se existe uma tensão de torção que não excede a relação da tensão de corte de 5 % predefinida por defeito, não é considerada na verificação da estabilidade; apenas os resultados para a encurvadura por flexão e encurvadura por flexão torção são exibidos.



Se um dos limites nesta secção de diálogo é excedido, aparece uma nota na janela de resultados. e não é realizada a análise de estabilidade. Contudo, o dimensionamento da secção é realizado independentemente. Essa configuração de limites não é parte da Norma [1] ou de qualquer Anexo Nacional. Alteração dos limites é da responsabilidade do utilizador.

O método de análise de estabilidade dos conjuntos de barras



O comportamento estabilizador dos conjuntos de barras pode ser analisado de acordo com dois métodos.

De acordo com 6.3.1 ... 6.3.3 (*Método da barra equivalente*), é possível tratar os conjuntos de barras como uma grande barra. Para isto, define os coeficientes k_z e k_w na janela 1.6 *Comprimento efetivo - Conjuntos de barras*. Esses coeficientes são utilizados para determinar as condições de apoio β , u_y , φ_x , φ_z , e ω . Se aplicado, as janelas 1.7 e 1.8 não serão exibidas. Note que os coeficientes k_z e k_w são idênticos para cada secção ou barra dos conjuntos de barras. Em geral, apenas deve utilizar o método de barra equivalente para conjuntos de barras retas.

Se seleciona 6.3.4 (*Método geral*), o programa realiza uma análise geral de acordo com [1], cláusula 6.3.4, baseado no coeficiente α_{cr} . Na janela 1.7 *Apoio nodal - Conjunto de barras*, pode definir as condições de apoio em relação a falha de estabilidade (encurvadura e encurvadura por flexão torção) para cada conjunto de barras individualmente. Os coeficientes k_z e k_w da janela 1.5 não são utilizados.

3.1.3 Estado limite de utilização

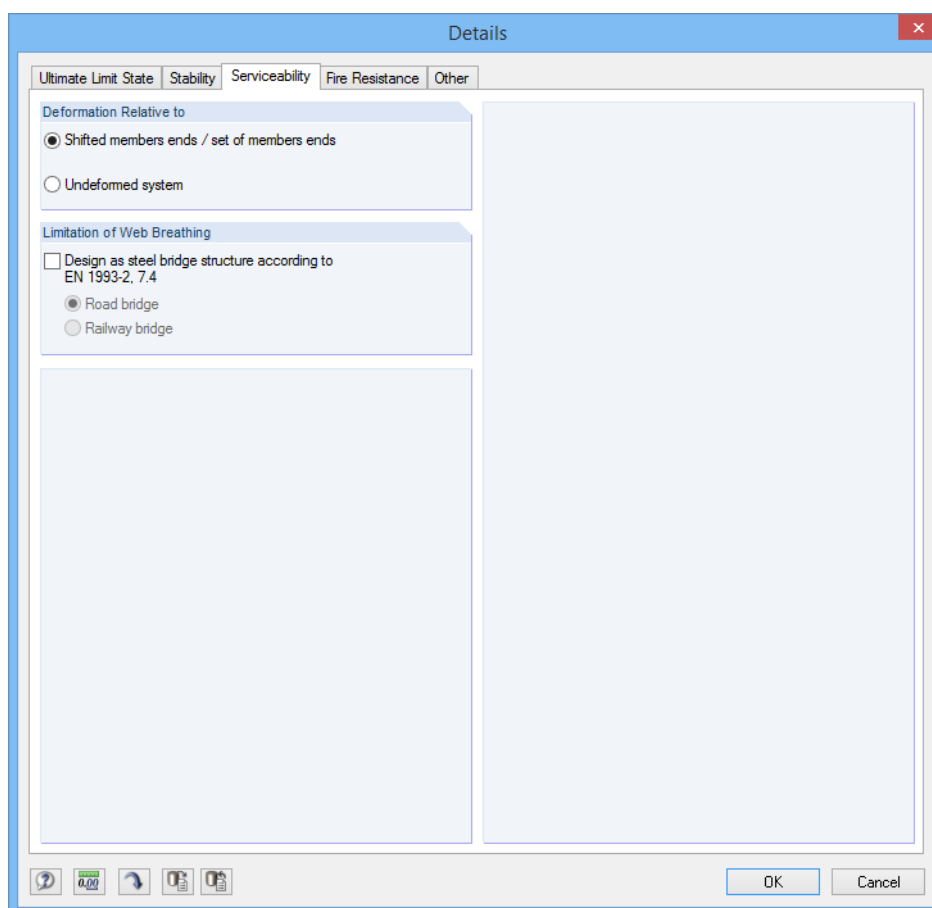


Figura 3.3: Caixa de diálogo *Detalhes*, separador *Estado limite de utilização*

Deformação relativa a

Essas opções especificam se as deformações máximas são relativas às extremidades de barra deslocadas / extremidade do conjunto de barras (linha de ligação entre os nó inicial e final de um sistema deformado) ou para o sistema inicial não deformado. Geralmente, as deformações são calculadas relativamente aos deslocamentos no sistema estrutural completo.

```
name: Nat-Annex-Text
file: Nat-Annex-Text
state: unknown
```

Pode verificar e, se necessário, ajustar as deformações limite na caixa de diálogo *Configuração do Anexo Nacional* (ver [Figura 2.10](#), página 12).

Limitação do relaxamento da alma

No caso da verificação do estado limite de utilização das pontes de aço, é necessário verificar a relação de esbelteza das placas de alma de forma a evitar a formação de ondas ou o relaxamento excessivo das placas, bem como a redução excessiva da resistência devido à encurvadura da placa. A caixa de seleção *Dimensionamento da estrutura de pontes em aço de acordo com EN 1993-2, 7.4* [8] permite-lhe analisar o relaxamento (repetida fora do plano de deformação), o qual pode resultar em problemas de fadiga nas ligações entre a lama e o banzo.

É necessário definir se dimensiona uma *Ponte rodoviária* ou uma *Ponto ferroviária*, pois existem diferentes critérios para cada caso.

3.1.4 Resistência ao fogo

Neste separador, pode controlar as configurações detalhadas para a verificação da resistência ao fogo.

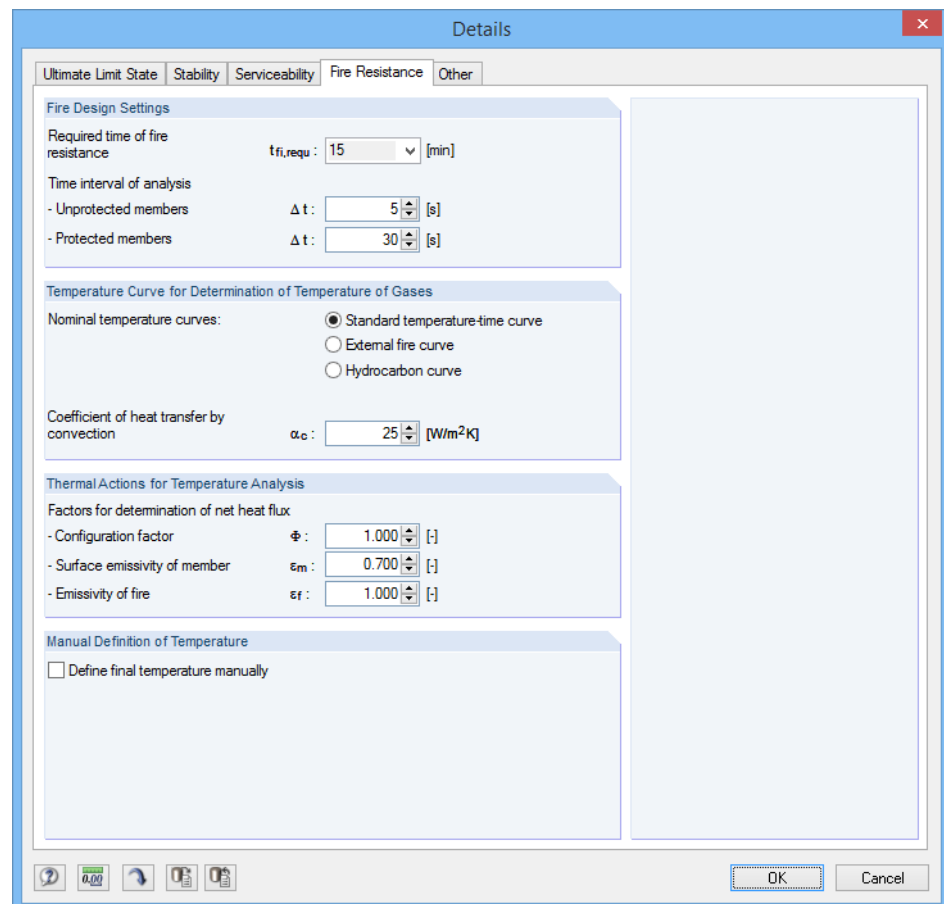


Figura 3.4: Caixa de diálogo *Detalhes*, separador *Resistência ao fogo*

De forma a determinar a alteração da temperatura, o utilizador deve definir o *Tempo necessário da resistência ao fogo* e o *Intervalo de tempo das análises*, bem como a *Curva de temperatura para a determinação da temperatura dos gases*. Pode seleccionar uma de três curvas de temperatura nominais ilustradas na [Figura 3.5](#) à [Figura 3.7](#) na página seguinte,

Os *Coefficientes para a determinação da rede de fluo de calor* são determinados em concordância com [9] e [2]. Contudo, pode ajusta-los de acordo com as condições específicas.

Se selecciona a caixa *Definir temperatura final manualmente*, depois é possível definir individualmente a temperatura Θ_a na janela 1.10 e 1.11.

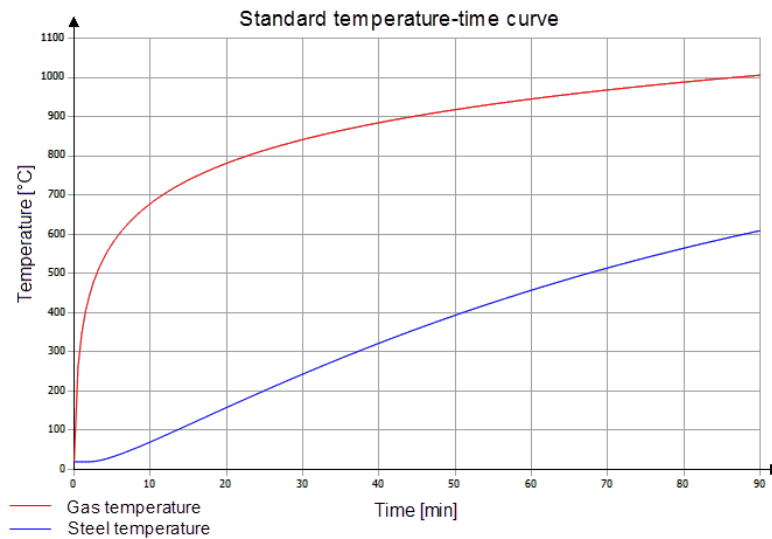


Figura 3.5: Temperatura padrão-Curva do tempo

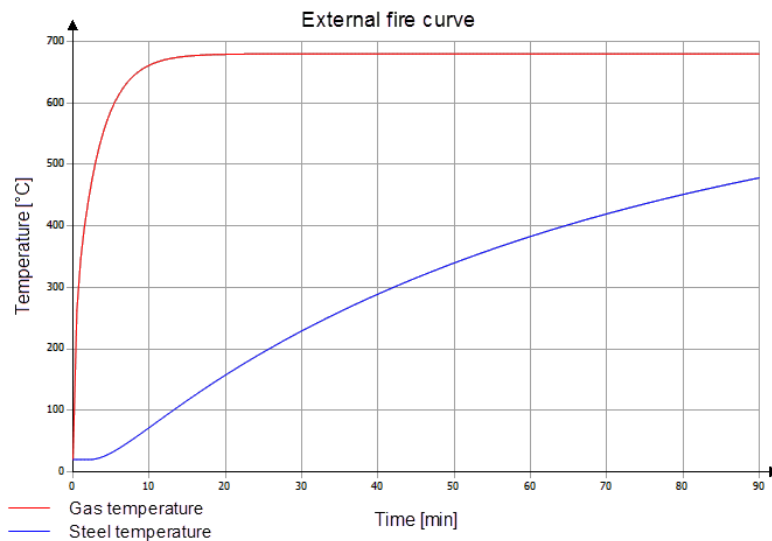


Figura 3.6: Curva do fogo exterior

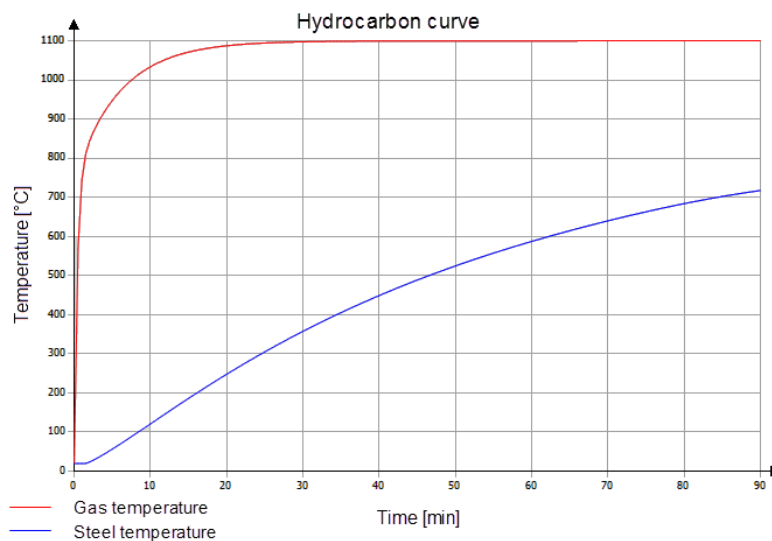


Figura 3.7: Curva do Hidrocarboneto

3.1.5 Outro

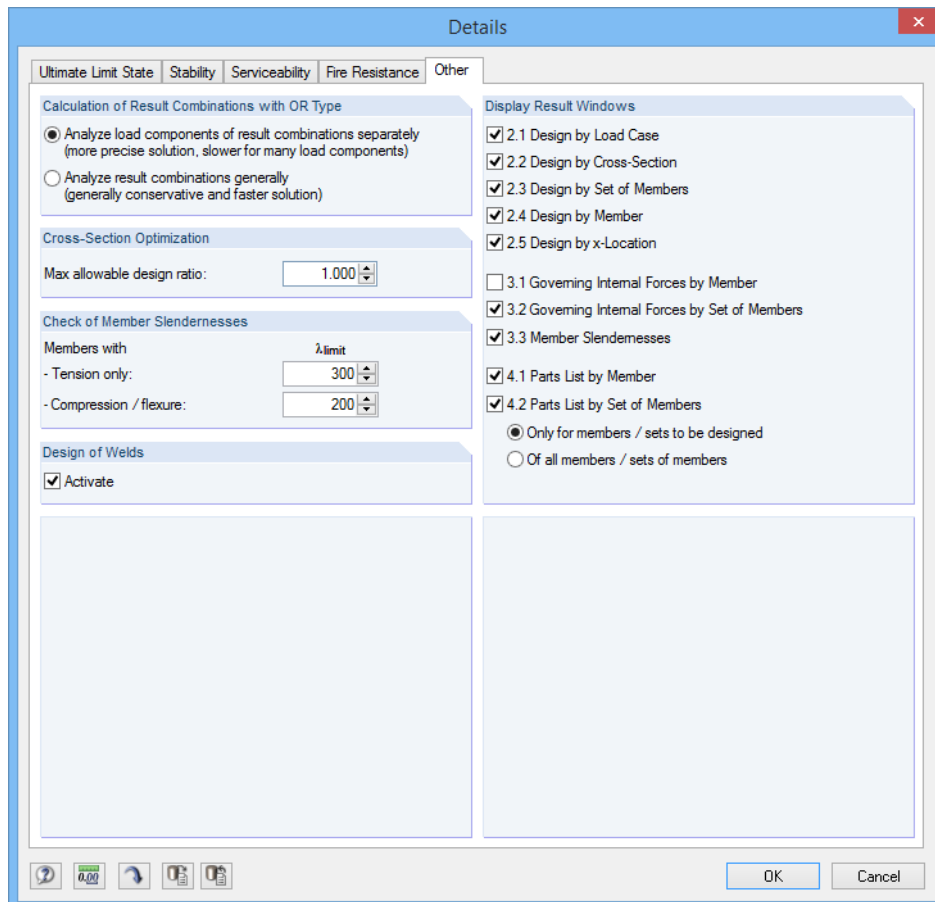


Figura 3.8: Caixa de diálogo *Detalhes*, separador *Outro*

Optimização da secção

Por defeito, a optimização é atingida no valor máximo da relação de dimensionamento admissível de 100 %. Se necessário, pode definir uma relação de dimensionamento diferente nesta caixa de texto.

Verificação da esbelteza da barra

Nas duas caixas de texto, é possível especificar o valor limite λ_{limite} de forma a definir a esbelteza da barra. Pode introduzir especificações separadamente para as barras com forças de tracção, apenas e para barras cm flexão e compressão.

Os valores limite são comparados com a esbelteza real na janela 3.3. Esta janela de entrada está disponível após o cálculo (ver [Capítulo 4.8, página 62](#)), se tiver seleccionado a correspondente caixa de seleção na secção de diálogo *Exibir tabela de resultados*.

Dimensionar almas

Se selecciona esta caixa de seleção, o dimensionamento da alma é realizado no decurso da análise, O programa efetua dimensionamentos típicos de acordo com EN 1993-1-8 [10]. Após o cálculo, é possível encontrar os resultados no dimensionamento das secções (ver também o blog DLUBAL Blog: www.dlubal.com/blog/3675).

Mostrar a janela de resultados

Nesta secção de diálogo, é possível seleccionar quais as janelas de resultados, incluindo a lista de partes que devem ser exibidas. Essas janelas são descritas no [Capítulo 4](#) - .

A janela 3.3 *Esbelteza da barra* encontra-se desativada por defeito.

3.2 Iniciar cálculo

Em todas as janelas de entrada do módulo adicional RF-STEEL EC3, o utilizador pode iniciar o cálculo através do botão [Cálculo].

O RF-STEEL EC3 pesquisa pelos resultados dos casos de carga, combinações de carga e combinações de resultados a serem calculados. Se não podem ser encontrados, o programa inicia o cálculo do RFEM para determinar os esforços internos relevantes para dimensionamento.

O utilizador também pode começar o cálculo na interface do utilizador do RFEM. A caixa de diálogo *A calcular* (menu **Calcular** → **a calcular**) lista os casos de dimensionamento dos módulos adicionais como os casos de carga e as combinações de carga.

```
name: Calculation-Text
file: Calculation-Text
state: unknown
```

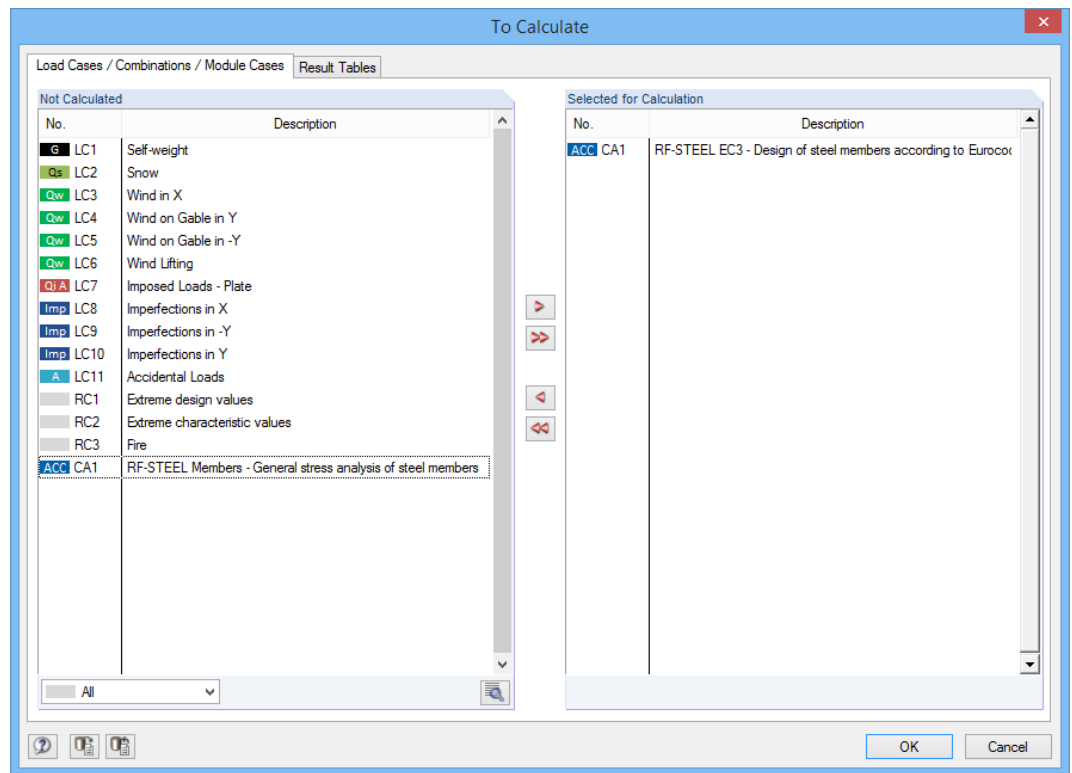
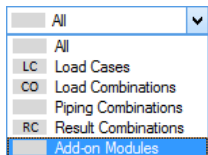


Figura 3.9: Caixa de diálogo *Para calcular*



Se estão em falta os casos de dimensionamento do RF-STEEL EC3 na secção *Não calculados*, seleccione *Tudo* ou *Módulos adicionais* na lista pendente abaixo da secção.

Utilize o botão para transferir os casos do RF-STEEL EC3 seleccionados para a lista à direita. Clique em [OK] para iniciar o cálculo.

Para calcular um caso de dimensionamento directamente, utilize a lista na barra de ferramentas. Seleccione o caso de dimensionamento do RF-STEEL EC3 na lista da barra de ferramentas e clique em [Mostrar resultados].



Figura 3.10: Cálculo directo do caso do RF-STEEL EC3 no RFEM.

Posteriormente, pode observar o processo de dimensionamento numa caixa de diálogo separada.

4 Resultados

Capítulo 4 - descreve as diferentes janelas de resultados uma a uma. A avaliação da verificação dos resultados é descrita no Capítulo 5 , página 66.

Aparece a janela 2.1 *Dimensionamento por caso de carga* imediatamente após o cálculo.

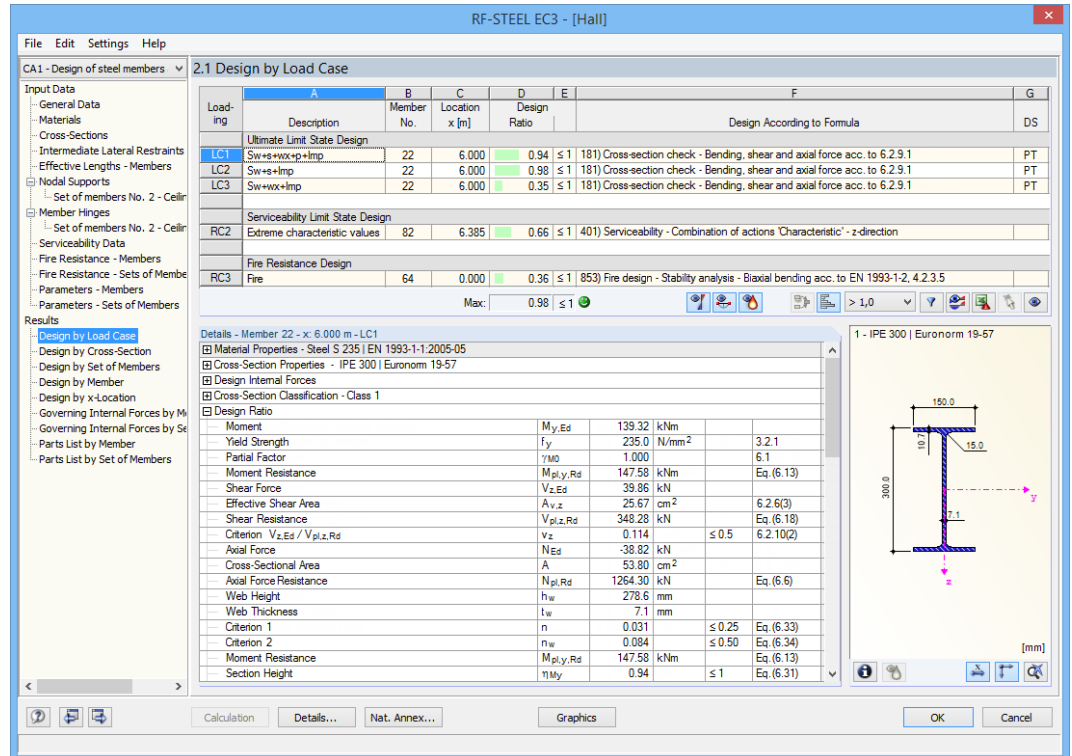


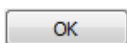
Figura 4.1: Janela de resultados com o dimensionamento e os valores intermédios

Os dimensionamentos são apresentados na janela de resultados 2.1 a 2.5 classificados por diferentes critérios

As janelas 3.1 e 3.2 listam os esforços internos determinantes. A janela 3.3 contém informação sobre a esbelteza. As duas últimas janelas 4.1 e 4.2 apresentam as listas de partes por barras e conjuntos de barras.



Cada navegador pode ser selecionado através do clique na correspondente entrada no navegador. Para definir a janela anterior e seguinte, utilize os botões apresentados à esquerda, Também pode utilizar as teclas funcionais para selecionar a janela seguinte [F2] e a janela anterior [F3].



[OK] guarda os resultados. o RF-STEEL EC3 é encerrado e volta para o programa principal.

4.1 Dimensionamento por caso de carga



A parte superior da janela apresenta um resumo dos principais dimensionamentos, classificados por casos de carga, combinações de carga e combinações de resultados. Além do mais, a lista é dividida na verificação do estado limite último, estado limite de utilização e resistência ao fogo.

A parte inferior inclui a informação detalhada nas propriedades das secções, esforços internos analisados e parâmetros de dimensionamento para os casos de carga selecionados acima.

2.1 Design by Load Case

Load- ing	A Description	B Member No.	C Location x [m]	D Design Ratio	E	F Design According to Formula	G DS
Ultimate Limit State Design							
LC1	Sw+s+wx+p+Imp	22	6.000	0.94	≤ 1	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1	PT
LC2	Sw+s+Imp	22	6.000	0.98	≤ 1	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1	PT
LC4	Sw+p+Imp	12	3.000	0.93	≤ 1	361) Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.3, Method 2	PT
Serviceability Limit State Design							
RC2	Extreme characteristic values	82	6.385	0.66	≤ 1	401) Serviceability - Combination of actions 'Characteristic' - z-direction	SC
Fire Resistance Design							
RC3	Fire	64	0.000	0.36	≤ 1	853) Fire design - Stability analysis - Biaxial bending acc. to EN 1993-1-2, 4.2.3.5	
				Max:	0.98	≤ 1	

Details - Member 12 - x: 3.000 m - LC4

Design Ratio

Elastic Critical Load for Torsional Buckling	$N_{cr,T}$	2719.35	kN	
Modulus of Elasticity	E	210000.0	N/mm ²	
Moment of Inertia	I_y	8360.00	cm ⁴	
Effective Member Length	$L_{cr,y}$	23.130	m	
Elastic Flexural Buckling Force	$N_{cr,y}$	323.87	kN	≤ $N_{cr,T}$
Cross-Sectional Area	A	53.80	cm ²	
Yield Strength	f_y	235.0	N/mm ²	3.2.1
Slenderness	λ_{y}	1.976		> 0.2 6.3.1.2(4)
Buckling Curve	KL_y	a		Tab. 6.2
Imperfection Factor	α_y	0.210		Tab. 6.1
Auxiliary Factor	χ_y	2.638		6.3.1.2(1)
Reduction Factor	χ_y	0.228		Eq. (6.49)
Section Height	h	300.0	mm	
Section Width	b	150.0	mm	
Criterion	h/b	2.00		≤ 2 Tab. 6.5
Buckling Curve	KL_{LT}	b		Tab. 6.5
Imperfection Factor	α_{LT}	0.340		Tab. 6.3
Shear Modulus	G	80769.2	N/mm ²	
Effective Length Factor	k_z	1.000		
Effective Length Factor	k_w	1.000		

1 - IPE 300 | Euronorm 19-87

Figura 4.2: Janela 2.1 Dimensionamento por caso de carga

Descrição

Esta coluna mostra as descrições dos casos de carga, combinações de carga e combinações de resultados utilizados para o dimensionamento.

Barra N°

Esta coluna mostra o número da barra com a relação de dimensionamento máxima das ações dimensionadas.

Posição x

Esta coluna apresenta a respetiva posição x, onde ocorrem as relações de dimensionamento máximas das barras. Para a tabela de saída, o programa utiliza as seguintes posições de barra x:

- O nó inicial e final
- Pontos de divisão de acordo com a divisão de barra possivelmente definida (ver tabela 1.16 do RFEM)
- Divisão de barra de acordo com a especificação para barras resultantes (caixa de diálogo *Parâmetros de cálculo*, separador *Parâmetros globais de registo* no RFEM)
- Valores extremos dos esforços internos.

Relação de dimensionamento

Max: 0.98 ≤ 1

As colunas D e E apresentam as condições de dimensionamento de acordo com [1], [2] e [3]. O comprimento das barras coloridas representa as respetivas relações de dimensionamento.

Dimensionar de acordo com a fórmula

Esta coluna exibe as equações código através das quais é realizado o dimensionamento,

DS

A última coluna contém informação sobre as respetivas situações de dimensionamento relevantes (DS): PT ou AC para o estado limite último ou uma de três situações de dimensionamento para o estado limite de utilização (CH, FR, QP) de acordo com as especificações na janela 1.1 *Dados gerais* (ver Figura 2.7, página 10).

4.2 Dimensionamento por secção

2.2 Design by Cross-Section

Section No.	Member No.	Location x [m]	Load-ing	D	E	F
1	IPE 300	Euronorm 19-57				Design According to Formula
	1	0.000	LC4	0.07	≤ 1	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	1	0.000	LC4	0.06	≤ 1	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
	1	0.000	LC1	0.00	≤ 1	126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)
	1	4.000	LC2	0.22	≤ 1	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1
	1	6.000	LC4	0.53	≤ 1	221) Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force acc. to 6.2.10 and 6.2.9
	1	2.000	LC4	0.65	≤ 1	361) Stability analysis - Bending about y-axis and compression acc. to 6.3.3, Method 2
	1	0.000	LC4	0.80	≤ 1	364) Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.3, Method 2
	HE A 120	Euronorm 53-62				

Max: 0.80 ≤ 1

Details - Member 1 - x: 4.000 m - LC2

- ▣ Cross-Section Properties - IPE 300 | Euronorm 19-57
- ▣ Design Internal Forces
- ▣ Cross-Section Classification - Class 1
- ▣ Design Ratio

Moment	$M_{y,Ed}$	32.73	kNm		
Yield Strength	f_y	235.0	N/mm ²		3.2.1
Partial Factor	γ_{M0}	1.000			6.1
Moment Resistance	$M_{pl,y,Rd}$	147.58	kNm		Eq. (6.13)
Shear Force	$V_{z,Ed}$	19.07	kN		
Effective Shear Area	$A_{v,z}$	25.67	cm ²		6.2.6(3)
Shear Force Resistance	$V_{pl,z,Rd}$	348.28	kN		Eq. (6.18)
Criterion $V_{z,Ed} / V_{pl,z,Rd}$	v_z	0.055		≤ 0.5	6.2.10(2)
Axial Force	N_{Ed}	-27.88	kN		
Cross-Sectional Area	A	53.80	cm ²		
Axial Force Resistance	$N_{pl,Rd}$	1264.30	kN		Eq. (6.6)
Web Height	h_w	278.6	mm		
Web Thickness	t_w	7.1	mm		
Criterion 1	n	0.022		≤ 0.25	Eq. (6.33)
Criterion 2	n_w	0.060		≤ 0.50	Eq. (6.34)
Moment Resistance	$M_{pl,y,Rd}$	147.58	kNm		Eq. (6.13)
Moment Component	η_{My}	0.22		≤ 1	Eq. (6.31)
Design Ratio	η	0.22		≤ 1	Eq. (6.36*)

Figura 4.3: Janela 2.2 *Dimensionamento por secção*

Nesta janela de resultados, estão listadas as relações de dimensionamento máximas de todas as barras e as ações selecionadas para dimensionamento por secções. Os resultados são classificados por dimensionamento de secção e análise de estabilidade, bem como pela verificação do estado limite de utilização e da resistência ao corte.

Se existe uma barra de secção variável, as secções do início e final da barra são listadas em separado.

4.3 Dimensionamento por conjunto de barra

2.3 Design by Set of Members

Set No.	A Member No.	B Location x [m]	C Load- ing	D Design Ratio	E	F Design According to Formula
2	Set of Members 2 (Member No. 13-15)					
	14	0.000	LC2	0.03	≤ 1	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	15	0.000	LC1	0.04	≤ 1	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
	14	0.000	LC2	0.01	≤ 1	131) Cross-section check - Torsion acc. to 6.2.7
	13	2.677	LC2	0.06	≤ 1	132) Cross-section check - Torsion and shear force acc. to 6.2.7(9)
	15	5.647	LC1	0.42	≤ 1	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1
	15	5.647	LC2	0.44	≤ 1	186) Cross-section check - Bending, shear, torsion and axial force acc. to 6.2.9.1
	14	2.121	LC1	0.00	≤ 1	206) Cross-section check - Bending about z-axis, shear, torsion and axial force acc. to 6.2.9.1
	15	5.647	LC1	0.45	≤ 1	221) Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force acc. to 6.2.10 and 6.2.9
	15	5.960	LC2	0.48	≤ 1	226) Cross-section check - Biaxial bending, shear, torsion and axial force acc. to 6.2.10 and 6.2.9

Max: 0.98 ≤ 1

Details - Member 15 - x: 5.960 m - LC2

Design Ratio	Value	Unit	Reference
Moment	65.46	kNm	
Plastic Section Modulus	628.00	cm ³	
Yield Strength	235.0	N/mm ²	3.2.1
Partial Factor	1.000		6.1
Moment Resistance	147.58	kNm	Eq. (6.13)
Shear Force	0.89	kN	
Effective Shear Area	25.67	cm ²	6.2.6(3)
Shear Force Resistance	348.28	kN	Eq. (6.18)
Torsional Moment	0.01	kNm	
Torsional Constant	20.20	cm ⁴	
Thickness	7.1	mm	
Shear Stress	0.2	N/mm ²	
Shear Force Resistance	348.06	kN	6.2.7(9)
Criterion $V_{y,Ed} / V_{pl,y,Rd}$	0.003		≤ 0.5 6.2.10(2)
Axial Force	-28.73	kN	
Cross-Sectional Area	53.80	cm ²	
Axial Force Resistance	1264.30	kN	Eq. (6.6)
Web Height	278.6	mm	
Web Thickness	7.1	mm	
Criterion 1	0.023		≤ 0.25 Eq. (6.33)
Criterion 2	0.062		≤ 0.50 Eq. (6.34)

Figura 4.4: Janela 2.3 Dimensionamento por conjunto de barras

Esta janela de resultados é exibida se seleciona pelo menos um conjunto de barras para o dimensionamento. A janela lista as relações de dimensionamento máximas ordenadas por conjunto de barras,

A coluna *Barra n°* apresenta o número da barra dentro do conjunto de barras que tem a relação de tensões máxima para o respetivo critério de dimensionamento.

A saída por conjunto de barras apresenta claramente o dimensionamento para todo o grupo estrutural (por exemplo, uma ligação de pórtico).

4.4 Dimensionamento por barra

2.4 Design by Member

Member No.	A Location x [m]	B Load-ing	C Design Ratio	D	E Design According to Formula
1	Cross-section No. 1 - IPE 300 Euronorm 19-57				
	0.000	LC2	0.03 ≤ 1	102)	Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	0.000	LC2	0.05 ≤ 1	121)	Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
	0.000	LC1	0.00 ≤ 1	126)	Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)
	4.000	LC2	0.22 ≤ 1	181)	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1
	6.000	LC2	0.50 ≤ 1	221)	Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force acc. to 6.2.10 and 6.2.9
	0.000	RC2	0.00 ≤ 1	400)	Serviceability - Negligible deformations
	4.500	RC2	0.94 ≤ 1	401)	Serviceability - Combination of actions 'Characteristic' - z-direction
	Cross-section No. 1 - IPE 300 Euronorm 19-57				

Max: 0.98 ≤ 1

Details - Member 1 - x: 4.500 m - RC2

Material Properties - Steel S 235 | EN 1993-1-1:2005-05

Modulus of Elasticity	E	210000.0	N/mm ²		
Shear Modulus	G	80769.2	N/mm ²		
Yield Strength	f _y	235.0	N/mm ²		3.2.1
Ultimate Tensile Strength	f _u	360.0	N/mm ²		3.2.1

Cross-Section Properties - IPE 300 | Euronorm 19-57

Deflections

Direction x	w _x	-0.3	mm		
Direction y	w _y	-7.3	mm		
Direction z	w _z	-18.7	mm		

Design Ratio

Deflection	w _{Q,inst,z}	-18.7	mm		
Refer. Length	l	6.000	m		
Limit Value Criterion	l / w _{Q,inst,lim}	300.00			
Limit Value of Deflection	w _{Q,inst,limit,z}	20.0	mm		
Design Ratio	η	0.94		≤ 1	Gl. (40)

Figura 4.5: Janela 2.4 Dimensionamento por barra

Esta janela de resultados apresenta as relações de dimensionamento máximas para os dimensionamentos individuais ordenados por número de barra. As colunas são descritas em detalhe no [Capítulo 4.1](#) na [página 55](#).

4.5 Dimensionamento por posição x

2.5 Design by x-Location

Member No.	A Location x [m]	B Load-ing	C Design Ratio	D	E
5	Cross-section No. 17 - IPE 300 Euronorm 19-57				
	0.000	LC2	0.05	≤ 1	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	0.000	LC1	0.12	≤ 1	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)
	0.000	LC3	0.33	≤ 1	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1
	0.000	LC1	0.81	≤ 1	221) Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force acc. to 6.2.10 and 6.2.9
	0.000	LC2	0.05	≤ 1	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	0.000	LC1	0.12	≤ 1	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)
	0.000	LC1	0.46	≤ 1	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1

Max: 0.98 ≤ 1

Details - Member 22 - x: 0.000 m - LC1

Cross-Section Classification - Class 1

Design Ratio

Moment	$M_{y,Ed}$	111.83	kNm		
Plastic Section Modulus	$W_{pl,y}$	628.00	cm ³		
Yield Strength	f_y	235.0	N/mm ²		3.2.1
Partial Factor	γ_{M0}	1.000			6.1
Moment Resistance	$M_{pl,y,Rd}$	147.58	kNm		Eq. (6.13)
Shear Force	$V_{z,Ed}$	43.41	kN		
Effective Shear Area		25.67	cm ²		6.2.6(3)
Shear Force Resistance	$V_{pl,z,Rd}$	348.28	kN		Eq. (6.18)
Criterion $V_{z,Ed} / V_{pl,z,Rd}$	v_z	0.125		≤ 0.5	6.2.10(2)
Axial Force	N_{Ed}	-60.43	kN		
Cross-Sectional Area	A	53.80	cm ²		
Axial Force Resistance	$N_{pl,Rd}$	1264.30	kN		Eq. (6.6)
Web Height	h_w	278.6	mm		
Web Thickness	t_w	7.1	mm		
Criterion 1	n	0.048		≤ 0.25	Eq. (6.33)
Moment	n_w	0.130		≤ 0.50	Eq. (6.34)
Shear Force	$M_{z,Ed}$	0.07	kNm		
Plastic Section Modulus	$W_{pl,z}$	125.22	cm ³		
Moment Resistance	$M_{pl,z,Rd}$	29.43	kNm		Eq. (6.13)
Shear Force	$V_{y,Ed}$	0.01	kN		

Figura 4.6: Janela 2.5 Dimensionamento por posição x

Esta janela de resultados lista o máximo para cada barra em todas as posições x, resultante dos pontos de divisão definidos no RFEM:

- O nó inicial e final
- Pontos de divisão de acordo com a divisão de barra possivelmente definida (ver tabela 1.16 do RFEM)
- Divisão de barra de acordo com a especificação para barras resultantes (caixa de diálogo *Parâmetros de cálculo*, separador *Parâmetros globais de registo* no RFEM)
- Valores extremos dos esforços internos.

4.6 Esforços internos principais por barra

3.1 Governing Internal Forces by Member

Member No.	A Location x [m]	B Load- ing	C			D			E			F			G			H			I Design According to Formula
			N _{Ed}	V _{y,Ed}	V _{z,Ed}	T _{Ed}	M _{y,Ed}	M _{z,Ed}	N _{Ed}	V _{y,Ed}	V _{z,Ed}	T _{Ed}	M _{y,Ed}	M _{z,Ed}	N _{Ed}	V _{y,Ed}	V _{z,Ed}	T _{Ed}	M _{y,Ed}	M _{z,Ed}	
1 Cross-section No. 1 - IPE 300 Euronorm 19-57																					
	0.000	LK2	-43.98	0.04	-19.07	0.00	43.84	0.12	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4												
	0.000	LK2	-43.98	0.04	-19.07	0.00	43.84	0.12	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6												
	0.000	LK1	-42.61	0.04	-15.08	0.00	34.58	0.12	126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)												
	4.000	LK2	-27.88	0.04	-19.07	0.00	-32.73	-0.05	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc.												
	6.000	LK2	-19.82	0.04	-19.07	0.00	-70.79	-0.14	221) Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force												
	0.000	EK2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	400) Serviceability - Negligible deformations												
	4.500	EK2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	401) Serviceability - Combination of actions 'Characteristic' - z-d												
2 Cross-section No. 1 - IPE 300 Euronorm 19-57																					
	0.000	LK2	-44.35	0.00	20.68	0.00	-50.30	-0.04	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4												
	0.000	LK1	-43.25	0.00	21.47	0.00	-52.70	-0.05	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6												
	0.000	LK1	-43.25	0.00	21.47	0.00	-52.70	-0.05	126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)												
	6.000	LK2	-20.19	0.00	20.68	0.00	74.06	-0.04	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc.												
	0.000	EK3	-90.47	0.04	20.95	0.00	-50.04	0.04	602) Fire design - Cross-section check - Compression acc. to E												
	3.900	EK3	-45.60	0.04	20.95	0.00	31.66	-0.11	621) Fire design - Cross-section check - Shear force												
	0.000	EK3	-90.47	0.04	20.95	0.00	-50.04	0.04	681) Fire design - Cross-section check - Bending, shear and axial force												
	6.000	EK3	-21.43	0.04	20.95	0.00	75.65	-0.18	721) Fire design - Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force												
11 Cross-section No. 1 - IPE 300 Euronorm 19-57																					
	0.000	LK2	-52.82	0.02	-30.65	0.00	65.91	0.07	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4												
	0.000	LK2	-52.82	0.02	-30.65	0.00	65.91	0.07	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6												
	0.000	LK1	-50.76	0.02	-23.01	0.00	48.02	0.07	126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)												
	6.000	LK2	-31.21	0.02	-30.65	0.00	-118.19	-0.05	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc.												
	0.000	LK2	-52.82	0.02	-30.65	0.00	65.91	0.07	221) Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force												
12 Cross-section No. 1 - IPE 300 Euronorm 19-57																					
	0.000	LK2	-56.98	-0.01	20.93	0.00	0.00	0.00	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4												
	0.000	LK1	-54.76	-0.01	21.68	0.00	0.00	0.00	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6												
	0.000	LK1	-54.76	-0.01	21.68	0.00	0.00	0.00	126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)												
	4.500	LK2	-40.77	-0.01	20.93	0.00	95.72	0.06	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc.												
	6.000	LK2	-35.37	-0.01	20.93	0.00	126.74	0.07	221) Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force												
13 Cross-section No. 3 - IPE 400 Euronorm 19-57 ... 2 - IPE 300 Euronorm 19-57																					

Figura 4.7: Janela 3.1 Esforços internos principais por barra

Para cada barra, esta janela apresenta os esforços internos principais, que são, os esforços internos que resultam da máxima utilização em cada dimensionamento.

Posição x

Esta coluna apresenta a respetiva posição x, onde ocorrem as relações de dimensionamento máximas das barras.

Carregamento

Esta coluna apresenta o número do caso de carga, bem como do caso e combinação de carga com os esforços internos resultantes na relação de dimensionamento máxima.

Forças / Momentos

Para cada barra, esta coluna apresenta as forças axiais e corte, bem como os momentos de flexão e torção produzindo as relações máximas nos respetivos dimensionamentos de secção, análises de estabilidade, verificações do estado limite de utilização e verificação da resistência ao fogo.

Dimensionamento de acordo com a fórmula

A última coluna apresenta os tipos de dimensionamento e as equações utilizadas para os dimensionamentos de acordo com [1], [2], ou [3].

4.7 Esforços internos determinantes por conjunto de barras

3.2 Governing Internal Forces by Set of Members

Set No.	A		B		C		D		E		F		G		H		I
	Location x [m]	Load-ing	N _{Ed}	Forces [kN] V _{y,Ed}	V _{z,Ed}	T _{Ed}	Moments [kNm] M _{y,Ed}	M _{z,Ed}	Design According to Formula								
1	Set of Members 1 (Member No. 51-52)																
	3.000	LK3	-1.21	-0.03	-0.07	0.00	-0.01	0.08	100	Negligible internal forces							
	0.000	LK1	-62.98	-0.01	1.15	0.00	-3.53	0.08	102	Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4							
	0.000	LK3	-13.29	-0.03	1.51	0.00	-2.20	-0.01	121	Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6							
	0.000	LK1	-62.98	-0.01	1.15	0.00	-3.53	0.08	126	Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)							
	0.000	LK2	-15.66	-0.02	0.12	-0.01	-0.46	0.02	131	Cross-section check - Torsion acc. to 6.2.7							
	0.000	LK1	-15.44	-0.02	1.41	-0.01	-2.19	0.02	132	Cross-section check - Torsion and shear force acc. to 6.2.7(9)							
	0.000	LK1	-62.98	-0.01	1.15	0.00	-3.53	0.08	181	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc.							
	0.000	LK1	-15.44	-0.02	1.41	-0.01	-2.19	0.02	186	Cross-section check - Bending, shear, torsion and axial force							
2	3.000	LK2	-32.67	-0.01	0.14	0.00	-0.38	0.10	221	Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force							
	0.000	LK2	-44.75	-0.01	0.14	0.00	-0.81	0.08	301	Stability analysis - Flexural buckling about y-axis acc. to 6.3.1.1							
	0.000	LK2	-44.75	-0.01	0.14	0.00	-0.81	0.08	321	Stability analysis - Torsional buckling acc. to 6.3.1.4 and 6.3.1.1							
	0.000	LK1	-62.98	-0.01	1.15	0.00	-3.53	0.08	364	Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.3. Met							
	0.000	LK1	-62.98	-0.01	1.15	0.00	-3.53	0.08	371	Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.4. Ger							
2	Set of Members 2 (Member No. 13-15)																
	0.000	LK2	-32.83	-0.03	21.38	-0.02	-45.46	0.02	102	Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4							
	0.000	LK1	-27.90	0.07	14.85	-0.01	18.57	0.10	121	Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6							
	0.000	LK2	-32.83	-0.03	21.38	-0.02	-45.46	0.02	131	Cross-section check - Torsion acc. to 6.2.7							
	2.677	LK2	-32.84	-0.03	21.71	-0.02	-49.90	0.02	132	Cross-section check - Torsion and shear force acc. to 6.2.7(9)							
	5.647	LK1	-26.58	0.07	-0.19	-0.01	61.69	-0.32	141	Cross-section check - Bending and shear force acc. to 6.2.5 a							
	5.647	LK2	-28.81	0.09	0.01	-0.01	65.57	-0.39	181	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6							
	2.121	LK1	-30.32	-0.06	16.13	-0.02	7.26	0.14	186	Cross-section check - Bending, shear, torsion and axial force a							
	5.647	LK1	-26.58	0.07	-0.19	-0.01	61.69	-0.32	221	Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force ac							
	5.960	LK2	-28.68	0.09	-1.42	-0.01	65.16	-0.43	226	Cross-section check - Biaxial bending, shear, torsion and axial f							
	5.647	LK2	-28.81	0.09	0.01	-0.01	65.57	-0.39	271	Cross-section check - Axial stress and torsion - Elastic design							

Figura 4.8: Janela 3.2 Esforços internos principais por conjunto de barras

Para cada conjunto de barras, esta janela apresenta os esforços internos nas relações máximas do dimensionamento.

4.8 Esbelteza da barra

3.3 Member Slendernesses

Member No.	A Under Stress	B Length L [m]	C Major Axis y		E λ_y [-]	F Minor Axis z		H λ_z [-]
			D k_y [-]	i_y [mm]		G k_z [-]	i_z [mm]	
1	Compression / Flexure	6.000	4.029	124.7	193.926	1.000	33.5	179.070
2	Compression / Flexure	6.000	1.000	124.7	48.133	1.000	33.5	179.070
3	Compression / Flexure	6.000	4.040	124.7	194.456	0.543	33.5	97.235
4	Compression / Flexure	6.000	3.855	124.7	185.551	0.518	33.5	92.758
5	Compression / Flexure	6.000	1.000	124.7	48.133	0.400	33.5	71.628
6	Compression / Flexure	6.000	1.000	124.7	48.133	0.600	33.5	107.442
7	Compression / Flexure	3.000	1.000	124.7	24.066	1.000	33.5	89.535
8	Compression / Flexure	3.000	1.000	124.7	24.066	1.000	33.5	89.535
9	Compression / Flexure	6.274	1.000	124.7	50.330	1.000	33.5	187.247
11	Compression / Flexure	3.000	1.000	82.8	36.224	1.000	49.9	60.112
12	Compression / Flexure	3.000	1.000	82.8	36.224	1.000	49.9	60.112
13	Compression / Flexure	6.274	1.000	57.3	109.541	1.000	35.2	178.246
14	Compression / Flexure	6.274	1.000	57.3	109.544	1.000	35.2	178.251
15	Compression / Flexure	6.274	1.000	57.3	109.544	1.000	35.2	178.251
16	Compression / Flexure	6.274	1.000	57.3	109.541	1.000	35.2	178.246
17	Compression / Flexure	6.546	1.000	65.6	99.778	1.000	39.8	164.286
18	Compression / Flexure	7.094	1.000	65.6	108.131	1.000	39.8	178.040
21	Compression / Flexure	6.546	1.000	65.6	99.778	1.000	39.8	164.286
22	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
23	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
24	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
25	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
26	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
27	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
28	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
31	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
32	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
33	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
34	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515
35	Compression / Flexure	5.000	1.000	31.0	161.515	1.000	31.0	161.515

Members with compression / flexure:
 Max λ_y 194.456 ≤ 200
 Max λ_z 187.247 ≤ 200

Figura 4.9: Janela 3.3 Esbelteza da barra

```
name: Details-Text
file: Details-Text
state: unknown
```

```
name: Details-Text
file: Details-Text
state: unknown
```

Esta janela de resultados aparece apenas se tiver selecionada a respetiva caixa de seleção, na caixa d diálogo *Detalhes*, separador *Outro* (ver Figura 3.8, página 51).

A tabela lista a esbelteza efetiva das barras dimensionadas para as duas direções dos eixos principais. A esbelteza é determinada em conformidade com o tipo de carga. No final da lista, tem a comparação com os valores limite que foram definidos na caixa de diálogo *Detalhes*, separador *Outro* (ver Figura 3.8, página 51).

Barras do tipo "Tirante" ou "Cabo" não estão incluídos nesta janela.

Esta janela é apenas de carácter informativo. Não providencia análise de estabilidade da esbelteza.

4.9 Lista de partes por barra

Finalmente, existe um resumo de todas as secções incluídas no caso de dimensionamento.

4.1 Parts List by Member

Part No.	A Cross-Section Description	B Number of Members	C Length [m]	D Total Length [m]	E Surface Area [m ²]	F Volume [m ³]	G Unit Weight [kg/m]	H Weight [kg]	Total Weight [t]
1	1 - IPE 300 Euronorm 19-57	6	6.00	36.00	41.72	0.19	42.23	253.40	1.520
2	2 - IPE 300 Euronorm 19-57 ... 3 - IPE 400	8	3.01	24.09	31.63	0.17	54.28	163.46	1.308
3	2 - IPE 300 Euronorm 19-57 ... 3 - IPE 400	8	3.26	26.10	30.25	0.14	42.23	137.78	1.102
4	2 - IPE 300 Euronorm 19-57 ... 3 - IPE 400	8	6.27	50.19	58.17	0.27	42.23	264.97	2.120
5	1 - IPE 300 Euronorm 19-57	4	3.00	12.00	13.91	0.06	42.23	126.70	0.507
6	10 - HE A 140 Euronorm 53-62	3	3.00	9.00	7.15	0.03	24.65	73.95	0.222
7	10 - HE A 140 Euronorm 53-62	2	3.55	7.09	5.63	0.02	24.65	87.41	0.175
8	10 - HE A 140 Euronorm 53-62	1	4.09	4.09	3.25	0.01	24.65	100.91	0.101
9	15 - HE A 200 Euronorm 53-62	4	3.00	12.00	13.68	0.06	42.23	126.70	0.507
10	6 - HE A 160 Euronorm 53-62	2	3.00	6.00	5.44	0.02	30.46	91.37	0.183
11	6 - HE A 160 Euronorm 53-62	2	3.55	7.09	6.43	0.03	30.46	108.00	0.216
12	6 - HE A 160 Euronorm 53-62	1	4.09	4.09	3.71	0.02	30.46	124.70	0.125
13	16 - Rectangle 200/200	1	3.00	3.00	2.40	0.12	314.00	942.00	0.942
14	7 - HE A 140 Euronorm 53-62	4	6.27	25.10	19.93	0.08	24.65	154.64	0.619
15	9 - IPE 360 Euronorm 19-57	8	6.25	50.00	67.65	0.36	57.07	356.68	2.853
16	6 - HE A 160 Euronorm 53-62	2	6.55	13.09	11.86	0.05	30.46	199.38	0.399
17	6 - HE A 160 Euronorm 53-62	1	7.09	7.09	6.43	0.03	30.46	216.07	0.216
18	12 - QRO 80x4 EN 10210-2:2006	25	5.00	125.00	39.13	0.15	9.42	47.10	1.178
19	13 - RD 24 Macsteel	4	7.81	31.24	2.36	0.01	3.55	27.71	0.111
20	13 - RD 24 Macsteel	8	8.02	64.18	4.84	0.03	3.55	28.47	0.228
Sum		102		516.46	375.55	1.86			14.630

Figura 4.10: Janela 4.1 Lista de partes por barra

```
name: Details-Text
file: Details-Text
state: unknown
```

Por defeito, esta lista contém apenas as barras dimensionadas. Se necessita de uma lista de partes de todas as barras do modelo, selecione a correspondente opção na caixa de diálogo *Detalhes*, separador *Outro* (ver [Figura 3.8](#), página 51).

Parte nº

O programa atribui automaticamente os números das partes a barras idênticas.

Descrição da secção

Esta coluna lista os números das secções e as descrições.

Número de barras

esta coluna apresenta quantas barras idênticas estão a ser utilizadas em cada parte.

Comprimento

Esta coluna apresenta o respetivo comprimento de uma barra individual.

Comprimento total

Esta coluna apresenta o produto determinado a partir das duas colunas anteriores.

Área de superfície



Para cada parte, o programa indica a área de superfície relativa ao comprimento total. A área de superfície é determinada a partir da *Área de superfície* das secções que podem ser vistas nas janelas 1.3 e 2.1 a 2.5 nas propriedades das secções (ver [figura 2.19](#), página 20).

Volume

O volume de uma parte é determinado a partir da área da secção e do comprimento total.

Unidade de peso

A *Unidade de peso* de uma secção é relativa ao comprimento por metro. Para secções de secção variável, o programa efetua a média dos dois pesos da secção.

Peso

Os valores desta coluna são determinados a partir do respetivo produto das entradas nas colunas C e G.

Peso total

A coluna final indica o peso total de cada parte.

Soma

No final da lista, pode encontrar um resumo dos valores nas colunas B, D, E, F e I. A última linha da coluna *Peso total* apresenta a quantidade total de aço necessária.

4.10 Lista de partes por conjunto de barras

Part No.	A Set of Members Description	B Number of Sets	C Length [m]	D Total Length [m]	E Surface Area [m ²]	F Volume [m ³]	G Unit Weight [kg/m]	H Weight [kg]	Total Weight [t]
1	Set of Members 1	1	6.00	6.00	6.84	0.03	42.23	253.40	0.253
2	Set of Members 2	1	12.55	12.55	15.01	0.07	45.12	566.22	0.566
3	Set of Members 3	1	12.55	12.55	15.01	0.07	45.12	566.22	0.566
4	Set of Members 4	1	6.55	6.55	5.20	0.02	24.65	161.35	0.161
5	Set of Members 5	1	7.09	7.09	5.63	0.02	24.65	174.86	0.175
Sum		5		44.74	47.68	0.22			1.722

Figura 4.11: Janela 4.2 Lista de partes por conjunto de barras

A última janela de resultados é exibida se tiver selecionado pelo menos um conjunto de barras para dimensionamento. a janela resume todo o grupo estrutural numa lista de partes, por exemplo vigas horizontais.

Podem ser encontrados os detalhes de várias colunas no capítulo anterior. Se existem diferentes secções utilizadas num conjunto de barras, o programa faz a média da área de superfície, do volume e do peso da secção.

5 Avaliação de resultados

É possível avaliar os resultados do dimensionamento de diferentes formas. Para isso, pode utilizar os botões abaixo da tabela superior.

2.4 Design by Member

Member No.	A	B	C	D	E
Location x [m]	Load-ing	Design Ratio	Design According to Formula		
1	Cross-section No. 1 - IPE 300 Euronorm 19-57				
0.000	LC2	0.03 ≤ 1	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4		
0.000	LC2	0.05 ≤ 1	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6		
0.000	LC1	0.00 ≤ 1	126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)		
4.000	LC2	0.22 ≤ 1	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1		
6.000	LC2	0.50 ≤ 1	221) Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force acc. to 6.2.10 and 6.2.9		
0.000	RC2	0.00 ≤ 1	400) Serviceability - Negligible deformations		
4.500	RC2	0.94 ≤ 1	401) Serviceability - Combination of actions 'Characteristic' - z-direction		
Cross-section No. 1 - IPE 300 Euronorm 19-57					
Max:		0.98 ≤ 1			

Details - Member 1 - x: 4.500 m - RC2

Material Properties - Steel S 235 | EN 1993-1-1:2005-05

Modulus of Elasticity	E	210000.0	N/mm ²	
Shear Modulus	G	80769.2	N/mm ²	
Yield Strength	f _y	235.0	N/mm ²	3.2.1
Ultimate Tensile Strength	f _u	360.0	N/mm ²	3.2.1

Cross-Section Properties - IPE 300 | Euronorm 19-57

Deflections

Direction x	w _x	-0.3	mm	
Direction y	w _y	-7.3	mm	
Direction z	w _z	-18.7	mm	

Design Ratio

Deflection	W _{Q,inst,z}	-18.7	mm	
Refer. Length	l	6.000	m	
Limit Value Criterion	l / W _{Q,inst,lim}	300.00		
Limit Value of Deflection	W _{Q,inst,limit,z}	20.0	mm	
Design Ratio	η	0.94	≤ 1	Gl. (40)

Figura 5.1: Botões para a avaliação de resultados

Os botões tem as seguintes funções:

Botão	Descrição	Função
	Verificação do estado limite último	Exibir ou ocultar os resultados da verificação do ULS.
	Verificação do estado limite de utilização	Exibe ou oculta os resultados para a verificação SLS
	Verificação da resistência ao fogo	Exibir ou ocultar os resultados da verificação da resistência ao fogo.
	Combinação de resultados	Criar uma nova combinação de resultados a partir dos casos de carga e combinações de carga principais
	Mostrar barras de cores	Exibe ou oculta a relação de escalas colorida nas janelas de resultados






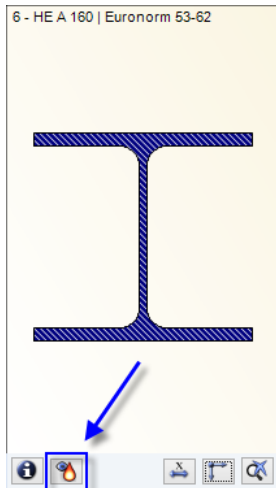
<pre>name: Filter-ratios file: Filter-ratios state: unknown</pre>	Parâmetro de filtro	Descreve o critério de filtragem dos resultados nas tabelas. relações superiores a 1, máximo ou limite definido pelo utilizador
	Aplicar filtro	Exibir apenas as linhas com os parâmetros de filtro aplicados (relação de dimensionamento > 1, máximo, limite definido pelo utilizador)
	Diagrama de resultados	abre a janela <i>Diagrama de resultados na barra</i> , → Capítulo 5.2, página 72
	Exportar para Excel	Exportar a tabela para o MS Excel / OpenOffice → Capítulo 7.4.3, página 83
	Seleção de barra	Selecione uma barra graficamente para exibir os seus resultados na tabela
	Modo de visualização	Vai para a janela de trabalho do RFEM para alterar a vista

Tabela 5.1: Botões na janela de resultados 2.1 a 2.5.



Quando avalia a verificação da resistência ao fogo, é possível verificar a evolução da temperatura do aço de forma gráfica. Clique no botão apresentado à esquerda (abaixo do gráfico da secção na janela de resultados) para abrir o diagrama *Curvas de temperatura*, como apresentado na [Figura 3.5](#) à [Figura 3.7, página 50](#).

5.1 Resultados no modelo RFEM

Também é possível avaliar os resultados do dimensionamento na janela de trabalho do RFEM.

Gráfico do plano de fundo do RFEM e o modo de visualização

A janela de trabalho do RFEM no plano de fundo é útil quando pretende encontrar a posição particular de uma barra no modelo. A barra selecionada na janela de resultados do RF-STEEL EC3 é destacada na cor de seleção no gráfico do plano de fundo. Uma seta indica também a posição x da barra que é exibida na linha ativa da tabela.

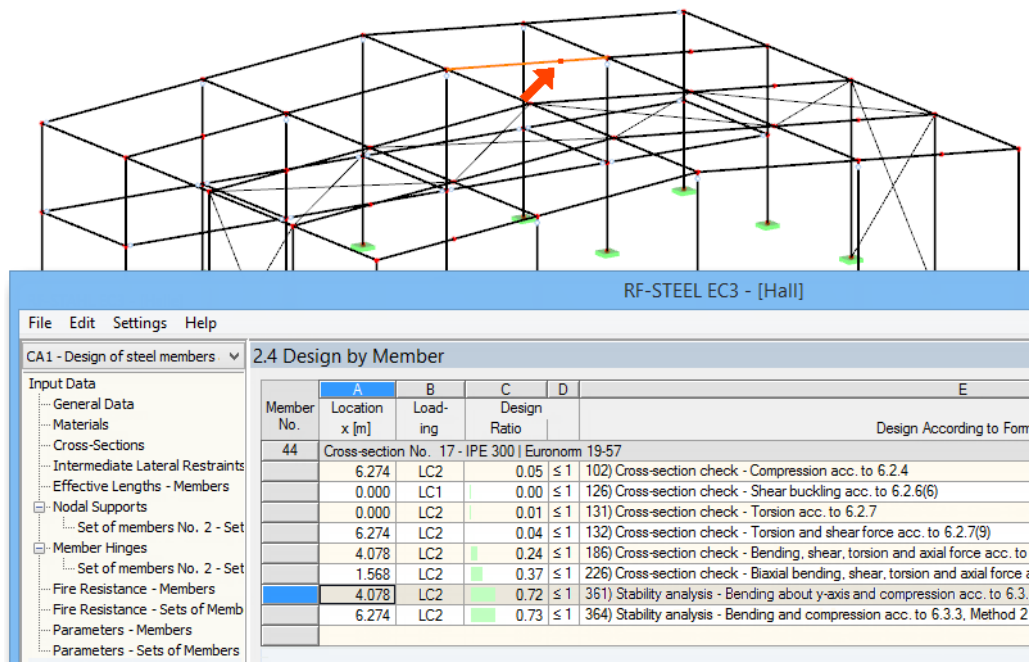
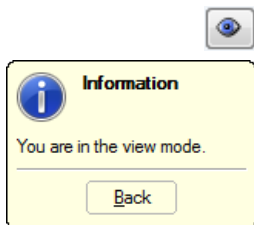


Figura 5.2: Indicação da atual *Posição x* a barra no modelo do RFEM



No caso de não conseguir melhorar a visualização através do deslocamento da janela do módulo do RF-STEEL EC3, clique em [Ir para o gráfico] para ativar o *Modo de visualização*: O programa oculta a janela para que seja possível alterar a interface do utilizador do RFEM. O modo de visualização providencia as funções do *Menu de vista*, por exemplo, ampliar, deslocar ou rodar a visualização. O cursor permanece visível.

Clique em [Voltar] para voltar ao módulo adicional do RF-STEEL E3.

```

name: Graphic-Text
file: Graphic-Text
state: unknown
    
```

Janela de trabalho do RFEM

Pode verificar graficamente as relações de dimensionamento no modelo do RFEM: Clique em [Gráficos] para sair do módulo de dimensionamento. Na janela de trabalho do RFEM, as relações de dimensionamento são agora exibidas como as forças internas de um caso de carga.

No navegador *Resultados*, é possível especificar quais as relações de dimensionamento das verificações do estado limite último, estado limite de utilização ou a resistência ao fogo pretende que sejam exibidas no gráfico.

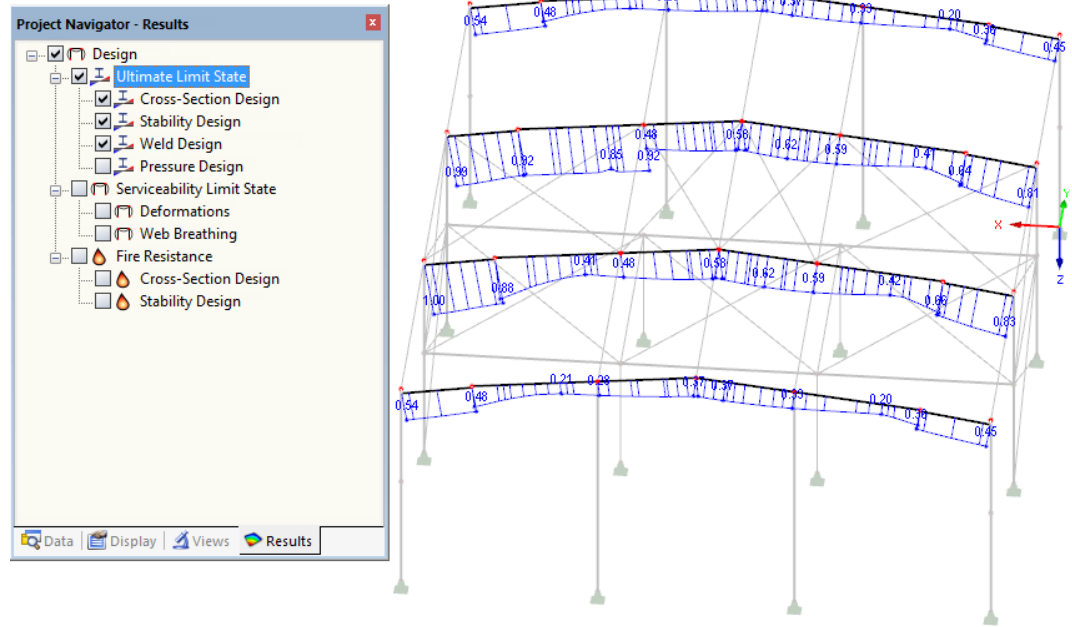


Figura 5.3: Navegador Resultados para o Estado limite de utilização, Utilização e Resistência ao fogo



Para ativar ou ocultar a visualização dos resultados do dimensionamento, clique no botão [Mostrar resultados], que já conhece da visualização dos esforços internos no RFEM. Para exibir os valores de resultado, clique no botão [Mostrar valores] à direita.



As tabelas do RFEM não são relevantes para a avaliação dos resultados do dimensionamento.

Pode definir os casos de dimensionamento através da lista na barra de menus do RFEM.

Para ajustar a representação gráfica dos resultados pode selecionar **Resultados** → **barras** no navegador *Mostrar*. A visualização das relações de dimensionamento é *Duas cores* por defeito.

- RF-STEEL EC3 CA1 - Beams
- LC1 - Self-weight
- LC2 - Imposed Load
- RC1 - 1.35*LC1 + 1.5*LC2
- RF-STEEL EC3 CA1 - Beams**
- RF-STEEL EC3 CA2 - Columns

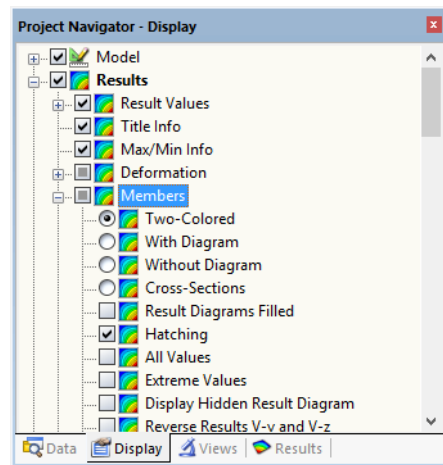


Figura 5.4: Navegador Mostrar: Resultados → barras

Se seleciona uma representação multicolorida (opções *Com/sem diagrama* ou *Secções*), o painel de cores torna-se ativo, providenciando funções de controlo comuns. Essas funções são descritas em detalhe no manual do RFEM, Capítulo 3.4.6.

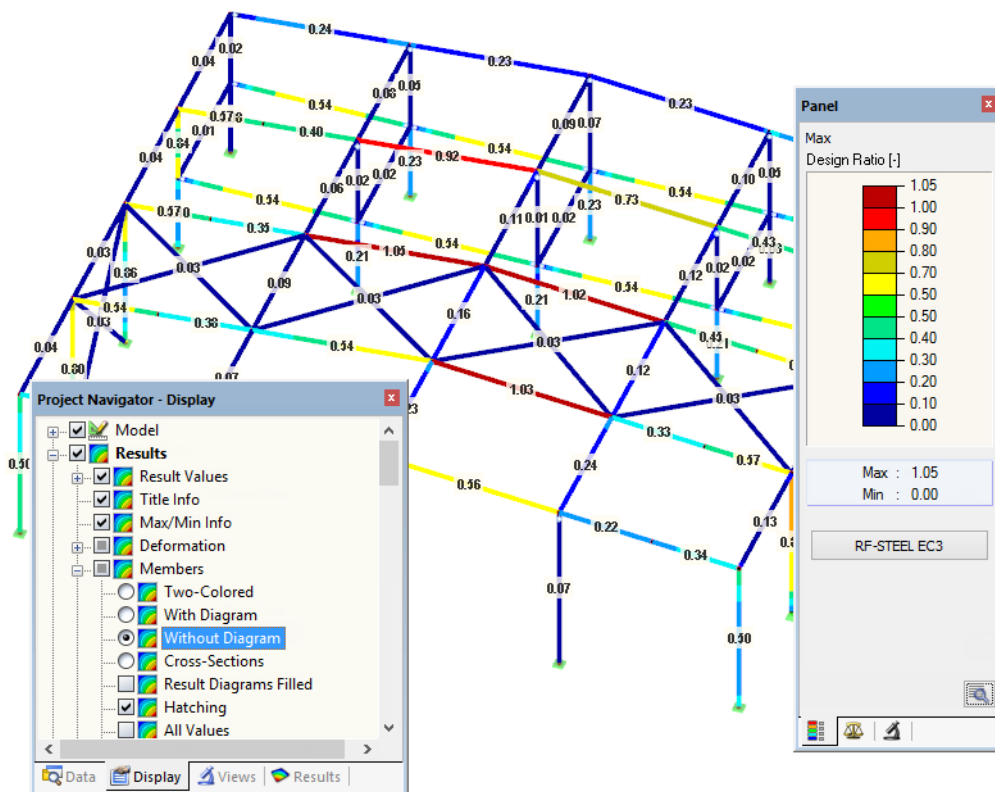


Figura 5.5: Relações de dimensionamento com opção de visualização *Sem diagrama*

É possível transferir os gráficos de resultados para o relatório de impressão (ver [Capítulo 6.2, página 75](#)).

RF-STEEL EC3

Para voltar para o módulo adicional, clique em [RF-STEEL EC3] no painel.

5.2 Diagramas de resultados

Também é possível avaliar graficamente a distribuição de resultados da barra no diagrama de resultados.



Para o fazer, selecione a barra (ou conjunto de barras) na janela de resultados do RF-STEEL EC3 através do clique na linha da tabela da barra. De seguida, abre a caixa de diálogo *Diagrama de resultados na barra* através do clique no botão apresentado à esquerda. O botão encontra-se por baixo da tabela de resultados superior (ver [Figura 5.1, página 66](#)).

Para exibir os diagramas de resultados, selecione o comando a partir do menu do gráfico do RFEM



Resultados → **Diagrama de resultados para as barras selecionadas**

ou utilize o correspondente botão na barra de ferramentas do RFEM.

Aparece uma janela, apresentação gráfica da distribuição dos resultados na barra ou conjunto de barras.

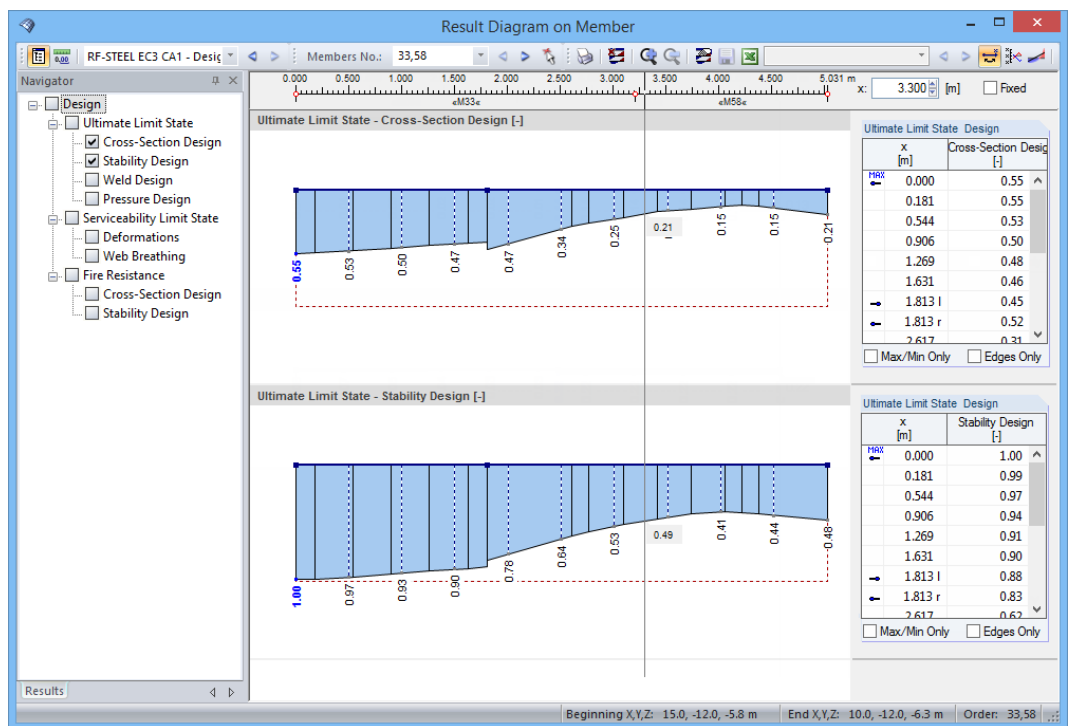
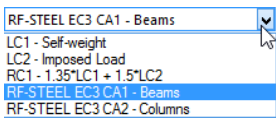


Figura 5.6: Caixa de diálogo *Diagrama de resultados na barra*

Também aqui, pode exibir as verificações do estado limite último, estado limite de utilização e a resistência ao fogo utilizando o navegador *Resultados*.



Utilize a lista na barra de ferramentas acima para selecionar o caso de dimensionamento relevante do RF-STEEL EC3.

A caixa de diálogo *Diagrama de resultados na barra* é descrita em detalhe no manual do RFEM, Capítulo 9.5.

5.3 Filtro para os resultados

```
name: Filter-ratios
file: Filter-ratios
state: unknown
```

As janelas de resultados do RF-STEEL EC3 permitem ordenar os resultados por vários critérios. Além disso, pode utilizar as opções de filtro para a janela (ver [Figura 5.1, página 66](#)) para limitar a saída numérica por relação de dimensionamento. Esta função é descrita no seguinte artigo do blog da DLUBAL Blog: www.dlubal.com/blog/11217

Além do mais, pode utilizar as opções de filtro descritas no Capítulo 9.9 do manual do RFEM para avaliar os resultados graficamente.



No RF-STEEL EC3, também pode utilizar as opções *Visibilidade* para filtrar as superfícies e barras de forma a avalia-las (ver manual do RFEM, capítulo 9.9.1).

Filtrar dimensionamento

```
name: Graphic-Text
file: Graphic-Text
state: unknown
```

Pode utilizar facilmente as relações de dimensionamento como critério de filtro na janela de trabalho do RFEM a qual pode ser acedida através do clique em [Gráfico]. Para aplicar esta função, o painel tem de ser exibida. Se o painel não se encontra ativo, pode ativar no menu do RFEM através do clique

Ver → Painel de controlo

ou utilize o botão da barra de ferramentas à esquerda.

O painel é descrito no manual do RFEM, Capítulo 3.4.6. A configuração do filtro para os resultados tem de ser definidas no primeiro separador do painel (Escala de cores). Como este separador não está disponível para a exibição dos resultados a duas cores, tem de definir a opção de visualização *Colorido com/sem diagrama* ou *Secções* no navegador *Mostrar*.

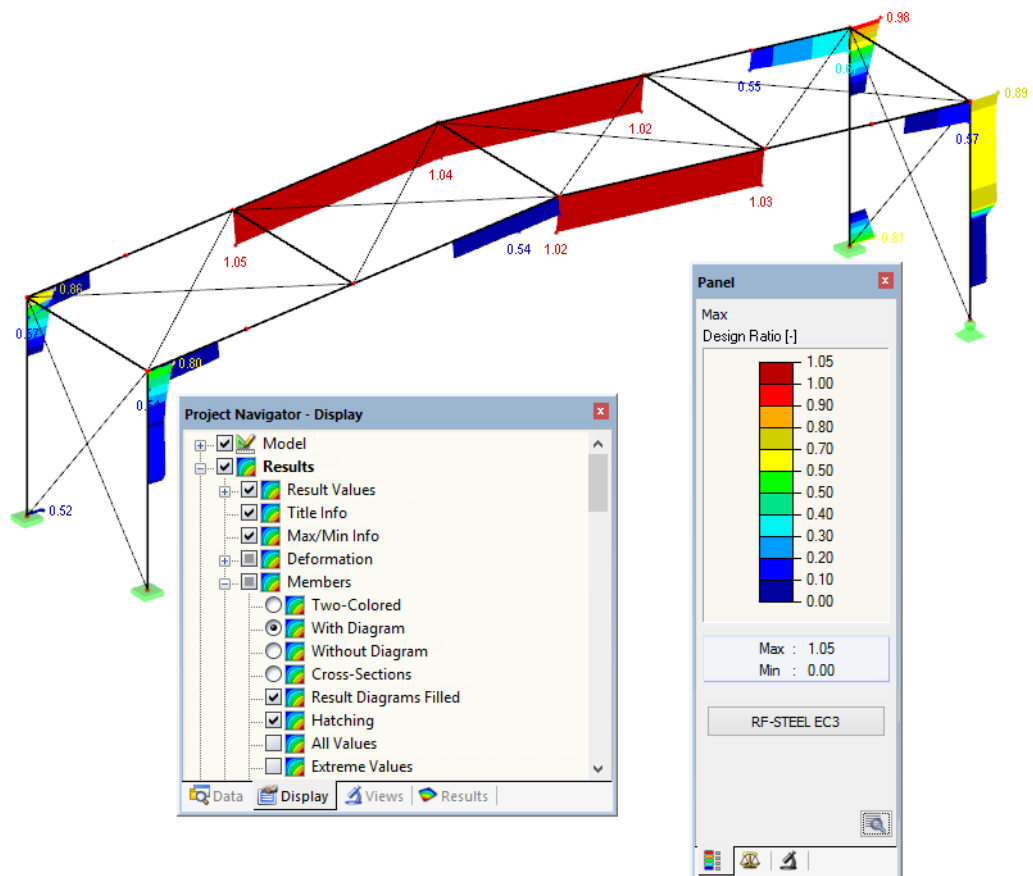


Figura 5.7: Filtrar relações de dimensionamento com escala de cor ajustada.

Como a figura acima mostra, a escala de cor pode ser definida de tal forma que apenas são apresentadas as relações superiores a 0.5 numa gama de cor entre o azul e o vermelho.

A função *Exibir diagrama de resultados oculto* no navegador *Mostrar (Barras de resultados)* mostra todas as relações de dimensionamento do espectro de valores. Esses diagramas são representados por linhas pontilhadas.

Filtrar barras



No separador *Filtro* do painel de controle, pode especificar os números das barras individuais para exibir os seus resultados filtrados. Esta função é descrita em detalhe no manual do RFEM, Capítulo 9.9.3.

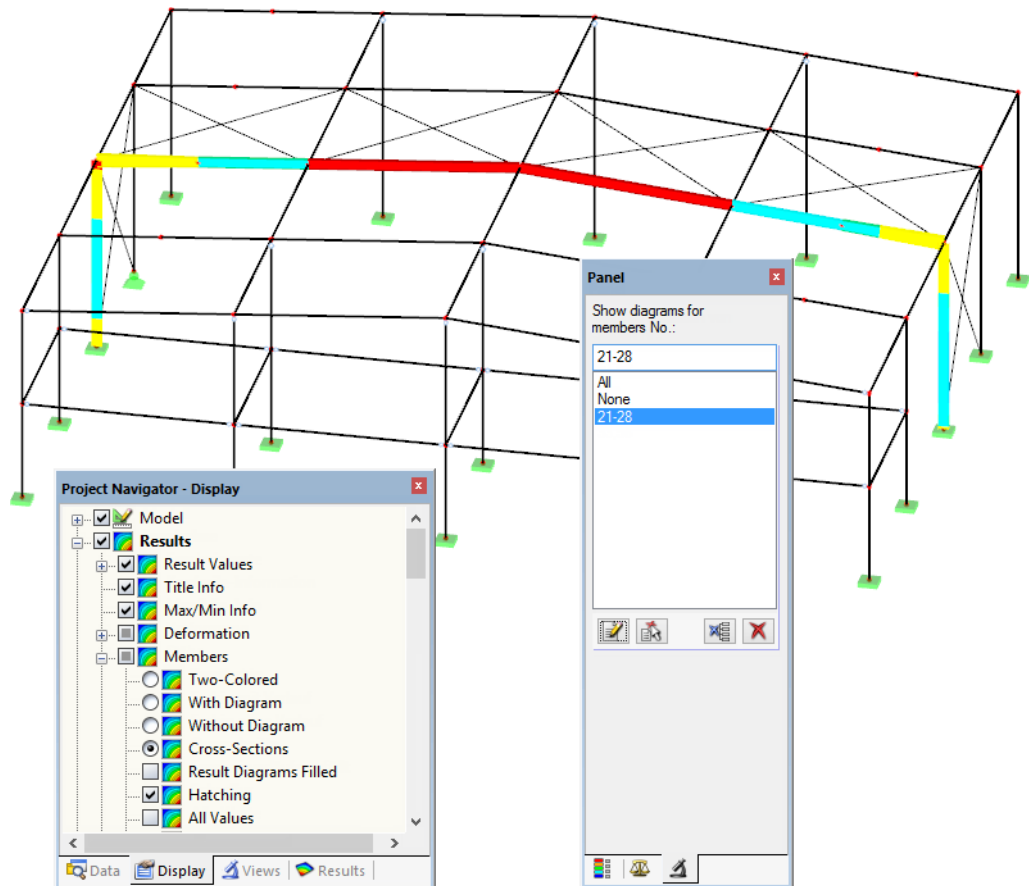


Figura 5.8: Filtro de barra para as relações de dimensionamento de um pórtico de nave

Em contraste com a função de visibilidade, o modelo será exibido de forma completa no gráfico. A figura acima mostra as relações de dimensionamento de um pórtico de nave. As barras restantes são exibidas no modelo, nas são apresentadas sem as relações de dimensionamento.

6 Impressão

6.1 Relatório de impressão

Idêntico ao RFEM, o programa gera um relatório de impressão para os resultados do RF-STEEL EC3, ao qual pode adicionar gráficos e descrições. A seleção no relatório de impressão determina que dados do módulo de dimensionamento serão incluídos na impressão.



O relatório de impressão é descrito no manual do RFEM. Em particular, o Capítulo 10.1.3.4 *Selecionar dados do Módulo adicional* descreve como selecionar os dados de entrada e saída dos módulos adicionais para o relatório de impressão.

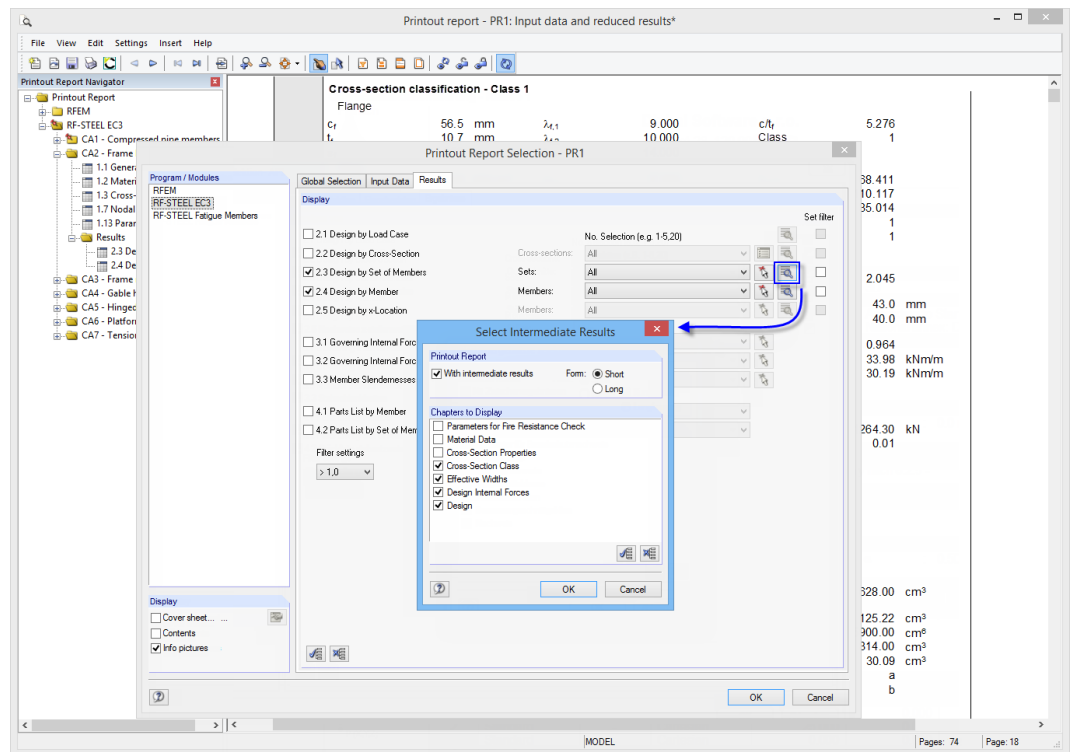


Figura 6.1: Selecionar dimensionamentos e resultados intermédios no relatório de impressão



Clique no botão [Detalhes] para especificar se pretende incluir os resultados intermédios no relatório de impressão e documentá-los numa lista na *forma curta* (representação compacta) ou a *Forma comprida* (lista representação).

Para sistemas estruturais complexos com muitos casos de dimensionamento, é recomendada a divisão dos dados em diversos relatórios de impressão, isso permite uma disposição clara da impressão.

6.2 Impressão gráfica

No RFEM, pode adicionar qualquer imagem que é exibida na janela de trabalho ao relatório de impressão ou enviá-la diretamente para uma impressora. Desta forma, também pode preparar as relações de dimensionamento exibidas no modelo do RFEM para a impressão.



A impressão dos gráficos é descrita no manual do RFEM, Capítulo 10.2.

Dimensionamentos no modelo do RFEM



Para imprimir o gráfico atualmente exibido das relações de dimensionamento, clique

Ficheiro → **Impressão gráfica**

ou utilize o botão da barra de ferramentas apresentado à esquerda.

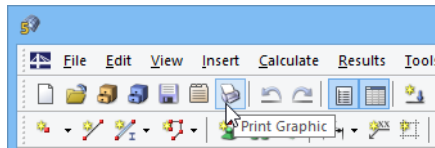


Figura 6.2: *Impressão gráfica* botão na barra de ferramentas do RFEM

Diagrama de resultados



Também na caixa de diálogo *Diagrama de resultados na barra*, pode clicar em [Imprimir] para transferir o gráfico para o relatório de impressão ou imprimi-lo diretamente.



Figura 6.3: Botão *Imprimir* na caixa de diálogo *Diagrama de resultados na barra*

Aparece a seguinte caixa de diálogo:

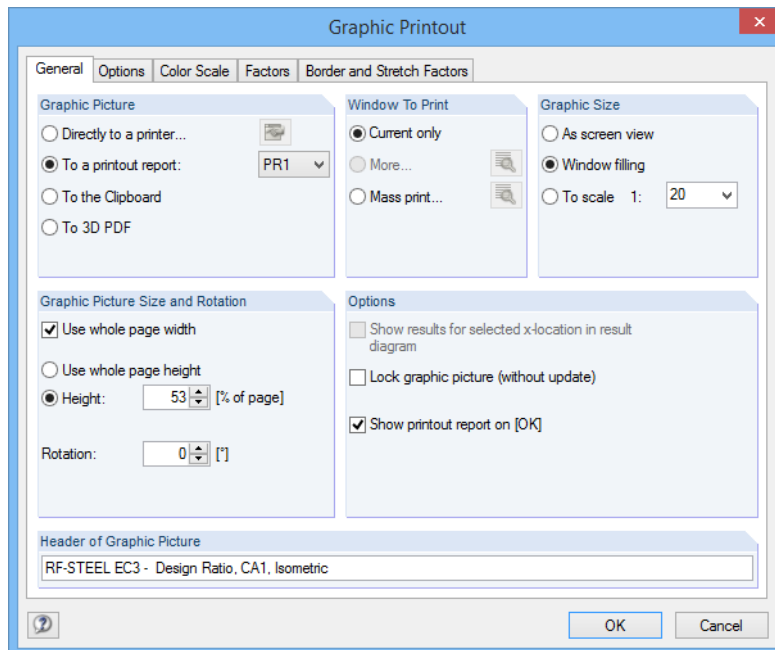


Figura 6.4: Caixa de diálogo *Impressão gráfica*, separador *Geral*

A caixa de diálogo *Impressão gráfica* é descrita em detalhe no manual do RFEM, Capítulo 10.2. O manual do RFEM também descreve as *Opções* e o separador *Escala de cor*.

Pode deslocar um gráfico para qualquer posição dentro do relatório de impressão utilizando a função arrastar-e-largar.

Para ajustar posteriormente o gráfico no relatório de impressão, clique com o botão direito sobre a entrada relevante no navegador do relatório de impressão. A opção *Propriedades* no menu de atalho abre a caixa de diálogo *Impressão gráfica*, oferecendo várias opções para o ajustamento.

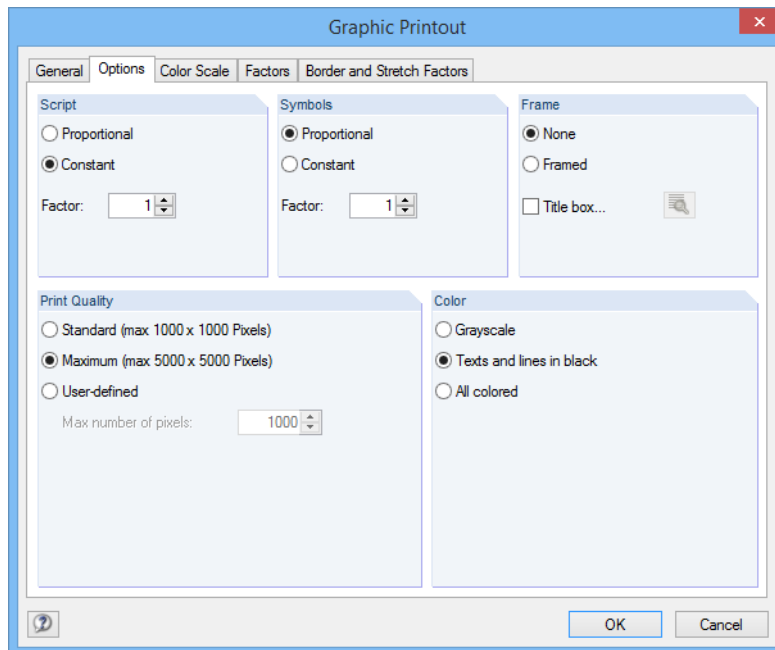
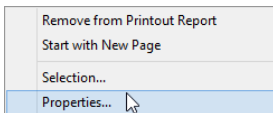


Figura 6.5: Caixa de diálogo *Impressão gráfica*, separador *Opções*

7 Funções gerais

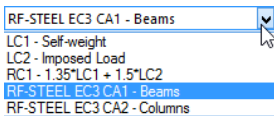
Este capítulo descreve as funções do menu úteis, bem como as opções de exportação para o dimensionamento.

7.1 Casos de dimensionamento

Os casos de carga permitem grupos de carga para o cálculo. Desta forma, pode combinar os grupos dos elementos estruturais ou analisar as barras com especificações de dimensionamento particulares (para exemplo, os materiais alterados, categorias de detalhes, otimização).

Não é problema analisar a mesma barra ou conjunto de barras em diferentes casos de dimensionamento.

Para calcular um caso de dimensionamento do RF-STEEL EC3, também pode utilizar a lista de casos de carga na barra de ferramentas do RFEM.



Criar novo caso de dimensionamento

Para criar um novo caso de carga, utilize o menu de RF-STEEL EC3 e clique

Ficheiro → **Novo caso.**

Aparece a seguinte caixa de diálogo:



Figura 7.1: Caixa de diálogo *Novo caso do RF-STEEL EC3*

Nesta caixa de diálogo, introduz um *Número* (que ainda se encontra disponível) para o novo caso de dimensionamento. A *Descrição* correspondente torna a seleção na lista de casos de carga mais fácil.

Clique em [OK] para abrir a janela *Dados gerais* no RF-STEEL EC3, onde pode introduzir os dados do dimensionamento.

Alterar nome do caso de carga

Para alterar a descrição de um caso de dimensionamento, utilize o menu do RF-STEEL EC3 e clique

Ficheiro → **alterar nome do caso.**

Aparece a seguinte caixa de diálogo:

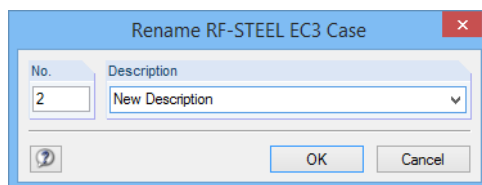


Figura 7.2: Caixa de diálogo *Alterar o nome do caso do RF-STEEL EC3*

Nesta caixa de diálogo, pode especificar a *Descrição*, bem como um diferente *Número* do caso de dimensionamento.

Copiar caso de dimensionamento

Para copiar os dados de entrada do atual caso de carga, utilize o menu do RF-STEEL EC3 e clique em **Ficheiro** → **Copiar caso**.

Aparece a seguinte caixa de diálogo:

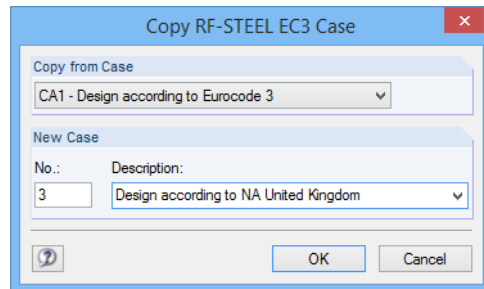


Figura 7.3: Caixa de diálogo *Copiar caso do RF-STEEL EC3*

Define o *Número* e, se necessário, uma *Descrição* para o novo caso.

Eliminar caso de dimensionamento

Para eliminar os casos de dimensionamento, utilize o menu do RF-STEEL EC3 e clique em **Ficheiro** → **Eliminar caso**.

Aparece a seguinte caixa de diálogo:

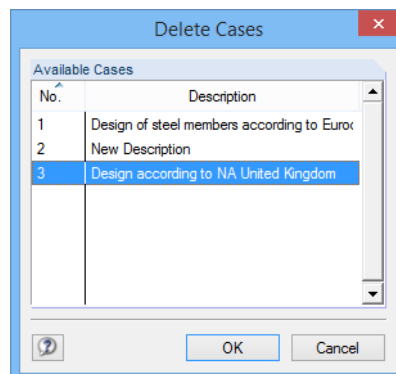
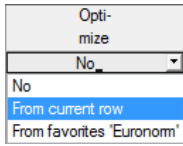


Figura 7.4: Caixa de diálogo *Eliminar caso*

Pode seleccionar o caso de dimensionamento na lista dos *Casos disponíveis*. Para eliminar o caso seleccionado, clique em [OK].

7.2 Otimização da secção



O módulo RF-STEEL EC3 de dimensionamento oferece a opção para otimizar as secções sobrecarregadas ou as secções pouco utilizadas. Para o executar, abra a lista pendente na coluna D ou E na janela 1.3 *Secções* e selecione se a secção é para ser determinada *A partir da linha* ou a partir do *Favoritos* definidos pelo utilizador (ver [Figura 2.17, página 18](#)). Também pode iniciar a otimização na janela de resultados através do menu de atalhos.

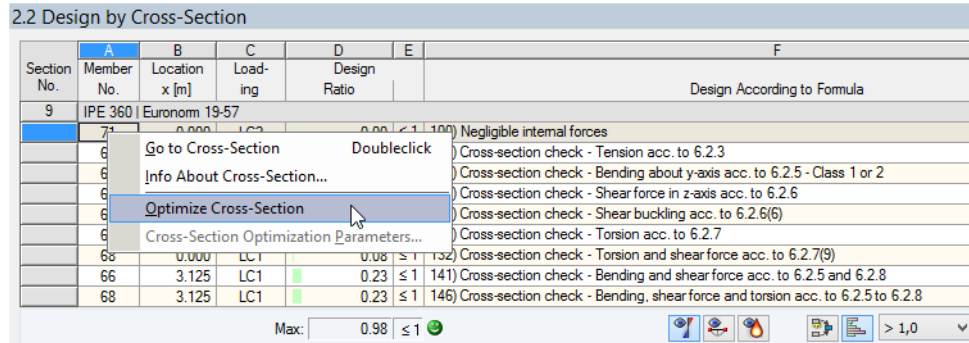


Figura 7.5: Menu de atalhos para a otimização da secção

Durante o processo de otimização, o RF-STEEL EC3 determina a secção que preenche os requisitos da análise de resistência da melhor forma, isto é, que mais se aproxima da relação de dimensionamento máxima admissível especificada na caixa de diálogo *Detalhes* (ver [Figura 3.8, página 51](#)). As propriedades necessárias das secções são determinadas com os esforços internos do RFEM. Se uma outra secção prova ser mais favorável, esta secção é utilizada para o dimensionamento. De seguida, o gráfico janela 1.3 apresenta duas secções: a secção original do RFEM e a secção otimizada (ver [Figura 7.7](#)).

Se seleciona a opção *Otimização* para uma secção parametrizada, a seguinte caixa de diálogo aparece.

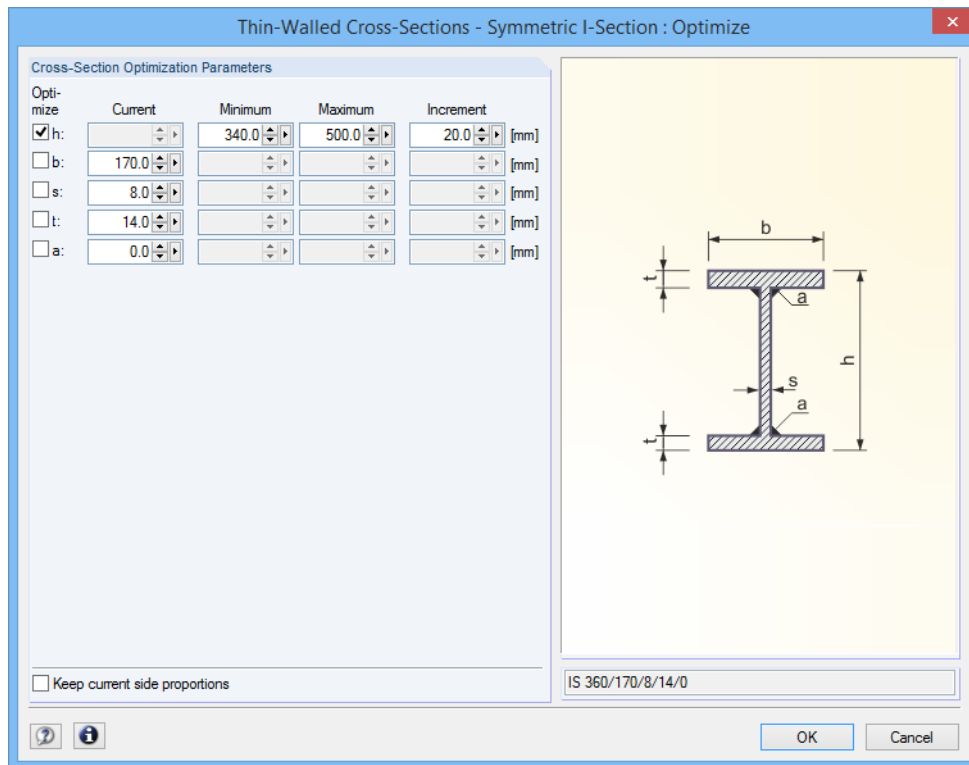


Figura 7.6: Caixa de diálogo *Secções de parede fina - Secção em I simétrica: Otimizar*

Após selecionar as caixas de seleção na coluna de *otimizar*, determina quais os parâmetros que pretende alterar. Isto ativa as colunas *Mínimo* e *Máximo*, onde pode especificar os limites superior e inferior do parâmetro. A coluna *Incremento* determina o intervalo no qual o tamanho do parâmetro varia durante o processo de otimização.

Se pretende *Manter as atuais proporções* seleccione a correspondente caixa de seleção. Além disso, tem de seleccionar pelo menos dois parâmetros para otimização.

As secções compostas ou as secções laminadas combinadas não podem ser otimizadas.



Note que os esforços internos são recalculados automaticamente com as secções alteradas durante a otimização: Depende do utilizador decidir quais as secções que devem ser transferidas para o RFEM para um novo cálculo. Como resultado das secções otimizadas, os esforços internos podem diferir de forma significativa por causa da resistência alterada no sistema estrutural. Portanto, é recomendado um novo cálculo dos esforços internos dos dados do modelo alterados após a primeira otimização e depois otimiza as secções novamente.

É possível exportar as secções alteradas para o RFEM: Ir para a janela 1.3 *Secções* e clique

Editar → **Exportar todas as secções para o RFEM.**

Também pode utilizar o menu de atalho na janela 1.3 para exportar as secções otimizadas para o RFEM.

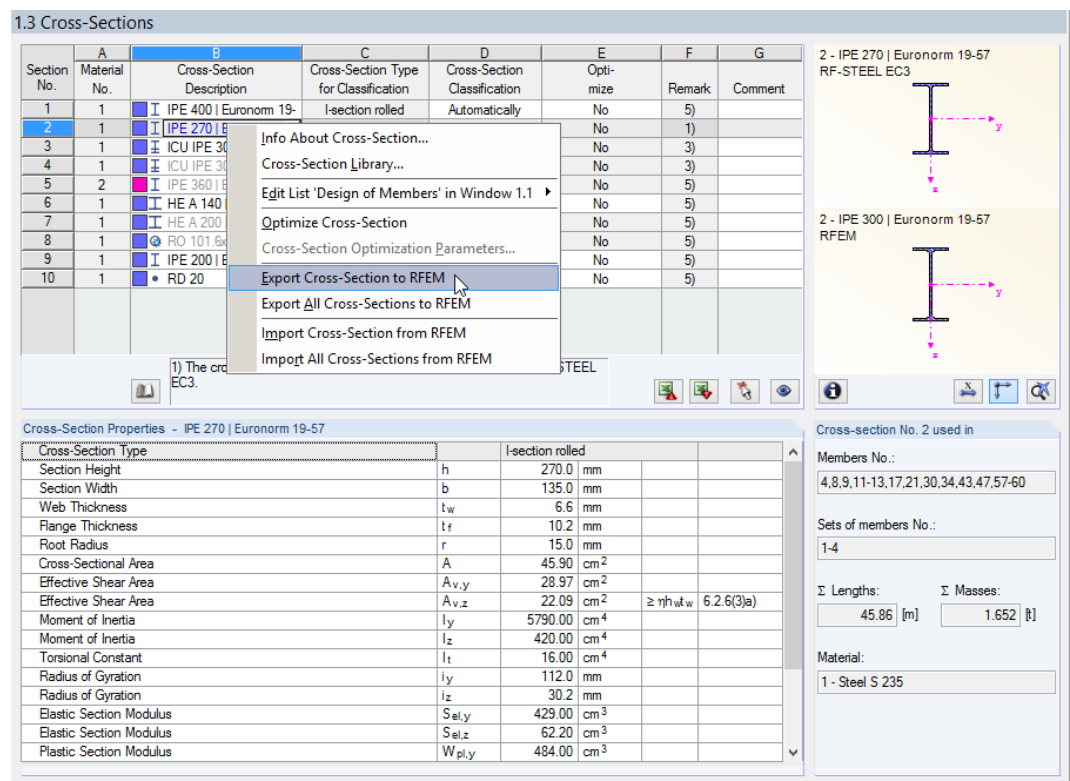


Figura 7.7: Menu de atalhos na janela 1.3 *Secções*

Antes de as secções serem transferidas para o RFEM, aparece uma questão de segurança a confirma se pretende que os resultados do RFEM devam ser eliminados.

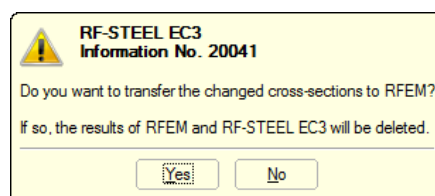


Figura 7.8: Questão antes de transferir as secções alteradas para o RFEM

```
name: Calculation-Text
file: Calculation-Text
state: unknown
```



Ao confirmar a questão e iniciar o [Cálculo] no módulo RF-STEEL EC3, serão determinados os esforços internos do RFEM, bem como as relações de dimensionamento num único cálculo.

Se as secções alteradas não tiverem sido exportadas ainda para o RFEM, pode reimportar as secções originais no módulo de dimensionamento utilizando as opções apresentadas na [Figura 7.7](#). Note que esta opção apenas se encontra disponível na janela 1.3 *Secções*.

Se otimiza uma barra de secção variável, o programa altera o início e final da barra e interpola linearmente os segundos momentos da área para posições intermédias. Desde que os momentos são considerados com a potencia de quatro, os dimensionamentos podem não ser precisos se as profundidades e as secções inicial e final diferem consideravelmente. Em tal caso, é recomendada a divisão da secção variável em diversas barras, assim modelar manualmente a disposição da secção variável.

7.3 Unidades e casas decimais

As unidades e casas decimais para o RFEM e os módulos adicionais são geridas numa caixa de diálogo. No RF-STEEL EC3, pode utilizar o menu para ajustar as unidades. Para abrir a correspondente caixa de diálogo, clique em

Configurações → Unidades e casas decimais

Aparece a seguinte caixa de diálogo, a qual já conhece do RFEM. O RF-STEEL EC3 encontra-se predefinido na lista *Programa / Módulo*.

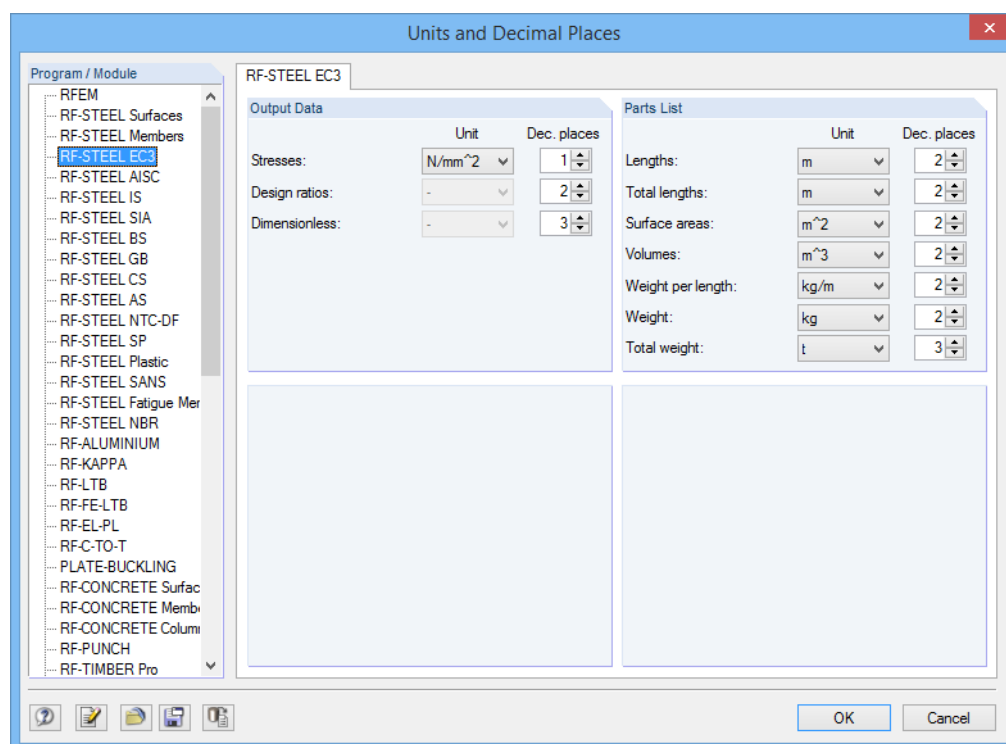


Figura 7.9: Caixa de diálogo *Unidades e casas decimais*



Pode guardar a configurações como para os utilizar noutros modelos. Estas funções são descritas no Capítulo 11.1.3 do manual do RFEM.

7.4 Transferência de dados

7.4.1 Exportar materiais para o RFEM

Quando tiver ajustado os materiais no RF-STEEL EC3 para o dimensionamento, pode exportar os materiais alterados para o RFEM de uma forma idêntica à exportação das secções: Abre a janela 1.2 *Materiais* e depois utilize o menu

Editar → **Exportar todos os materiais para o RFEM.**

Também pode exportar os materiais alterados para o RFEM utilizando o menu de atalho na janela 1.2.

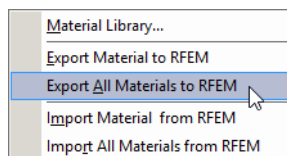


Figura 7.10: Menu de atalhos na janela 1.2 *Materiais*

```
name: Calculation-Text
file: Calculation-Text
state: unknown
```

Antes de as secções serem transferidas para o RFEM, aparece uma questão de segurança a confirma se pretende que os resultados do RFEM devem ser eliminados. Ao confirmar a questão e iniciar o [Cálculo] no módulo RF-STEEL EC3, serão determinados os esforços internos do RFEM, bem como as relações de dimensionamento num único cálculo.

Se as secções alteradas ainda não tiverem sido exportadas para o RFEM, pode reimportar as secções originais no módulo de dimensionamento através das opções apresentadas na [Figura 7.10](#). Note que, contudo esta opção apenas se encontra disponível na janela 1.2 *Materiais*.

7.4.2 Exportar comprimentos efetivos para o RFEM

Quando tiver exportado o comprimentos efetivos no RF-STEEL EC3 para dimensionamento, pode exportar o comprimento efetivo alterado de uma forma similar à exportação das secções: Ir para a janela 1.5 *Comprimento efetivo - Barras* e clique

Editar → **Exportar todos os comprimentos para o RFEM**

ou utilize a opção correspondente no menu de atalho da janela 1.5.

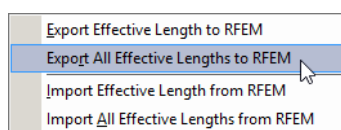


Figura 7.11: Menu de atalhos da janela 1.5 *Comprimento efetivo - Barras*

Antes de as secções serem transferidas para o RFEM, aparece uma questão de segurança a confirma se pretende que os resultados do RFEM devem ser eliminados.

Se as secções alteradas não tiverem sido ainda exportadas para o RFEM, é possível reimportar as secções originais no módulo de dimensionamento utilizando as opções apresentadas na [Figura 7.11](#). Note que esta opção apenas se encontra disponível nas janelas 1.5 *Comprimento efetivo - Barras* e 1.6 *Comprimento efetivo - Conjunto de barras*.

7.4.3 Exportar resultados

Os resultados do RF-STEEL EC3 também podem ser utilizados por outros programas.

Área de transferência

Para copiar as células selecionadas nas janelas de resultados para a área de transferência, utilize as teclas [Ctrl]+[C]. Pressione [Ctrl]+[V] para inserir as células, por exemplo, num programa de processamento de texto. Os cabeçalhos das colunas da tabela não serão transferidos.

Relatório de impressão

Pode imprimir os dados do RF-STEEL EC3 no relatório de impressão global (ver [Capítulo 6.2, página 75](#)) para posteriormente exportá-los. De seguida, no relatório de impressão clique em

Ficheiro → **Exportar para RTF**.

A função é descrita no manual do RFEM, Capítulo 10.111.

Excel / OpenOffice

O RF-STEEL EC3 contém uma função para a exportação de dados direta para o MS Excel, OpenOffice.org Calc, ou Ficheiro de formato CSV. Para abrir a correspondente caixa de diálogo, clique

Ficheiro → **Exportar tabelas**.

Aparece a seguinte caixa de diálogo de exportação:

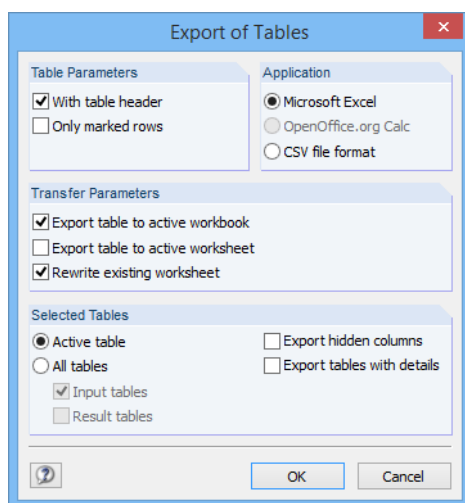


Figura 7.12: Caixa de diálogo *Exportar - MS Excel*

Quando tiver selecionado as opções relevantes, pode iniciar a exportação através do clique em [OK]. O Excel ou OpenOffice iniciarão automaticamente, não necessita de abrir primeiro o programa.

Section No.	Member No.	Location x [m]	Loading	Design Ratio	Design
1	1	IPE 300 Euronorm 19-57			
4	39	0.000	LC1	0.07 ≤ 1	102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
5	40	0.000	LC2	0.18 ≤ 1	121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
6	1	0.000	LC1	0.00 ≤ 1	126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)
7	22	6.000	LC2	0.98 ≤ 1	181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1
8	12	6.000	LC2	0.89 ≤ 1	221) Cross-section check - Biaxial bending, shear and axial force acc. to 6.2.10 and 6.2.9
9	21	2.000	LC1	0.05 ≤ 1	301) Stability analysis - Flexural buckling about y-axis acc. to 6.3.1.1 and 6.3.1.2(4)
10	12	0.000	LC2	0.22 ≤ 1	302) Stability analysis - Flexural buckling about y-axis acc. to 6.3.1.1 and 6.3.1.2
11	40	0.900	LC3	0.03 ≤ 1	311) Stability analysis - Flexural buckling about z-axis acc. to 6.3.1.1 and 6.3.1.2(4)
12	12	0.000	LC2	0.06 ≤ 1	321) Stability analysis - Torsional buckling acc. to 6.3.1.4 and 6.3.1.2(4)
13	12	3.000	LC2	0.86 ≤ 1	361) Stability analysis - Bending about y-axis and compression acc. to 6.3.3, Method 2
14	40	0.000	LC2	0.98 ≤ 1	364) Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.3, Method 2

Figura 7.13: Resultados no Excel

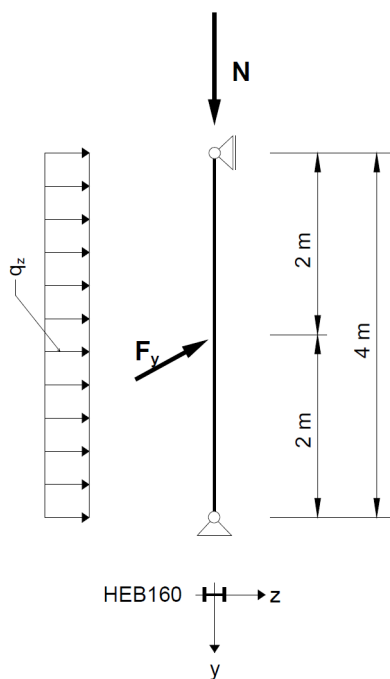
8 Exemplos

8.1 Estabilidade

No exemplo seguinte, realiza-se a análise de estabilidade para a encurvadura por flexão e a encurvadura por flexão torção para uma coluna com dupla flexão, considerando as condições de interação.

Valores de cálculo

Sistema e cargas



Valores de cálculo e cargas estáticas

$$N_d = 300 \text{ kN}$$

$$q_{z,d} = 5,0 \text{ kN/m}$$

$$F_{y,d} = 7,5 \text{ kN}$$

Figura 8.1: Sistema e cargas de dimensionamento (γ tempo)

Esforços internos para a análise linear estática

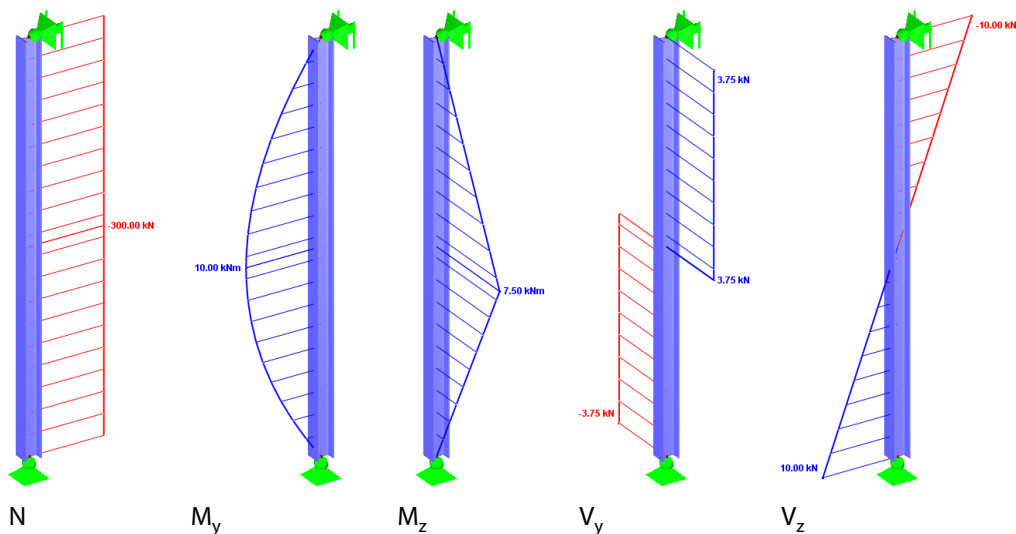


Figura 8.2: Esforços internos

Posições de dimensionamento (posição x determinante)

O dimensionamento é realizado para todas as posições x (ver [Capítulo 4.5](#)) da barra equivalente. A posição determinante é $x = 2,00$ m. O RFEM determina os esforços internos seguintes:

$$N = -300,00 \text{ kN} \quad M_y = 10,00 \text{ kNm} \quad M_z = 7,50 \text{ kNm} \quad V_y = 3,75 \text{ kN} \quad V_z = 0,00 \text{ kN}$$

Propriedades da secção HE-B 160, S 235

Propriedade	Símbolo	Valor	Unidade
Área da secção	A	54,30	cm ²
Momento de inércia	I _y	2 490,00	cm ⁴
Momento de inércia	I _z	889,00	cm ⁴
Raio de giração	i _y	6,78	cm
Raio de giração	i _z	4,05	cm
Raio polar de giração	i _p	7,90	cm
Raio polar da giração	i _{p,M}	41,90	cm
Peso da secção	G	42,63	kg/m
Constante de torção	I _T	31,40	cm ⁴
Constante de empenamento da secção	I _ω	47 940,00	cm ⁶
Módulo da secção elástica	W _y	311,00	cm ³
Módulo da secção elástica	W _z	111,00	cm ³
Módulo da secção elástica	W _{pl,y}	354,00	cm ³
Módulo da secção elástica	W _{pl,z}	169,96	cm ³
Curva de encurvadura	KL _y	b	
Curva de encurvadura	KL _z	c	

Tabela 8.1: Propriedades da secção HE-B 160, S 235

Encurvadura por flexão sobre o eixo menor (eixo ⊥ até z-z)

$$N_{cr,z} = \frac{21\,000 \cdot 889,00 \cdot \pi^2}{400,00^2} = 1\,151,60 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{54,30 \cdot 23,5}{1\,151,60}} = 1,053$$

$$\bar{\lambda}_z = 1,053 > 0,2 \quad \rightarrow \text{Tem de ser realizado o dimensionamento para a encurvadura por flexão}$$

$$\text{Geometria da secção} \quad \frac{h}{b} = 1,00 \leq 1,2 \quad \text{Aço estrutural S 235} \quad t \leq 100 \text{ mm}$$

[1], Tabela 6.2, linha 3, coluna 4: Curva de encurvadura c

$$\Rightarrow \alpha_z = 0,49 \quad (\text{Tabela 6.1})$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,053 - 0,2) + 1,053^2] = 1,263$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,263 + \sqrt{1,263^2 - 1,053^2}} = 0,510$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{300}{0,510 \cdot 54,30 \cdot 23,5 / 1,0} = 0,461$$

Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

Momento de inércia	I_z	889,00	cm ⁴		
Comprimento efetivo da barra	$L_{cr,z}$	4,000	m		
Força elástica de encurvadura por flexão	$N_{cr,z}$	1 151,60	kN		
Esbelteza	λ_z	1,053		> 0,2	6.3.1.2(4)
Curva de encurvadura	KL_z		c		Separador 6.2
Coefficiente de imperfeição	α_z	0,490			Separador 6.1
Coefficiente auxiliar	Φ_z	1,263			6.3.1.2(1)
Coefficiente de redução	χ_z	0,510			Eq. (6.49)

Tabela 8.2: Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

Encurvadura por flexão sobre o eixo maior (eixo \perp a y-y)

$$N_{cr,y} = \frac{21\,000 \cdot 2\,490,00 \cdot \pi^2}{400,00^2} = 3\,225,51 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{54,30 \cdot 23,5}{3\,225,51}} = 0,629$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,629 > 0,2 \quad \rightarrow \text{Tem de ser realizado o dimensionamento para a encurvadura por flexão}$$

$$\text{Geometria da secção } \frac{h}{b} = 1,00 \leq 1,2 \quad \text{Aço estrutural S 235} \quad t \leq 100 \text{ mm}$$

[1], Tabela 6.2, linha 3, coluna 4: Curva de encurvadura b

$$\Rightarrow \alpha_y = 0,34 \quad \text{Tabela 6.1}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,629 - 0,2) + 0,629^2] = 0,771$$

$$\chi_Y = \frac{1}{0,771 + \sqrt{0,771^2 - 0,629^2}} = 0,822$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_Y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{300}{0,822 \cdot 54,30 \cdot 23,5 / 1,0} = 0,286$$

Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

Momento de inércia	I_y	2 490,00	cm ⁴		
Comprimento efetivo da barra	$L_{cr,y}$	4,000	m		
Força elástica de encurvadura por flexão	$N_{cr,y}$	3 225,51	kN		
Área da secção	A	54,30	cm ²		
Tensão de cedência	f_y	23,50	kN/cm ²		3.2.1
Exbelteza	λ_y	0,629		> 0,2	6.3.1.2(4)
Curva de encurvadura	KL_y		b		Separador 6.2
Coefficiente de imperfeição	α_y	0,340			Separador 6.1
Coefficiente de imperfeição	Φ_y	0,771			6.3.1.2(1)
Coefficiente de redução	χ_y	0,822			Eq. (6.49)

Tabela 8.3: Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

Encurvadura por flexão torção

Momento elástico crítico ideal

Neste exemplo, o momento elástico crítico para a encurvadura por flexão torção é determinada de acordo com o Anexo Nacional Austríaca com a suposição dos apoios articulados.

O ponto de aplicação da carga é no centro de corte (para cargas transversais, é possível ajustar o ponto de aplicação na caixa de diálogo *Detalhes*, ver [Capítulo 3.1.2, página 46](#)).

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{I_\omega}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$

$$M_{cr} = 1,13 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 889}{400^2} \cdot \sqrt{\frac{47\,940}{889} + \frac{400^2 \cdot 8\,100 \cdot 31,40}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 889}} = 215,71 \text{ kNm}$$

O programa também apresenta $M_{cr,0}$, o qual é determinado na base de uma constante de distribuição do momento.



Para os resultados por posição x , o programa também apresenta o valor $M_{cr,x}$, que é, o momento elástico crítico nas posições z relativas ao momento elástico crítico na posição do momento máximo. Utilizando $M_{cr,x}$, o programa calcula a esbelteza relativa $\bar{\lambda}_{LT}$.

Esbelteza para a encurvadura por flexão torção

Cálculo de acordo com [1], Clausula 6.3.2.2, para a posição com o momento máximo em $x = 2,00\text{m}$:

HEB-160, Classe de secção 1: $W_y \Rightarrow W_{pl,y} = 354,0 \text{ cm}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{354 \cdot 23,5}{215,71}} = 0,621$$

Coefficiente de redução χ_{LT}

Cálculo de acordo com [1], Cláusula 6.3.2.3

HEB-160: $h/b = 1,0 < 2,0 \Rightarrow$ Curva de encurvadura de acordo com b , Tabela 6.5

$$\text{Coefficiente auxiliar: } \Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,621 - 0,40) + 0,75 \cdot 0,621^2 \right] = 0,682$$

$$\text{Limitar esbelteza: } \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,40$$

$$\text{Parâmetro (valor mínimo): } \beta = 0,75$$

$$\text{Coefficiente de imperfeição: } \alpha_{LT} = 0,34 \quad (\text{Tabela 6.3})$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,682 + \sqrt{0,682^2 - 0,75 \cdot 0,621^2}} = 0,908$$

De acordo com [1], Cláusula 6.3.2.3, o coeficiente de redução pode ser alterado como se segue:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{onde } f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[1 - 2,0 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right]$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{0,908}{0,972} = 0,934$$

Para um diagrama de momentos parabólico, obtém-se o seguinte coeficiente de correção k_c :

$$k_c = 0,94 \quad (\text{Tabela 6.6})$$

$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[1 - 2,0 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] = 1 - 0,5 \cdot (1 - 0,94) \cdot \left[1 - 2,0 \cdot (0,621 - 0,8)^2 \right]$$

$$f = 0,972$$

Coefficientes de interação k_{yy} e k_{yz}

Determinação de acordo com [1], Anexo B, Tabela B.2, para componentes estruturais suscetíveis de deformações por torção. O Coeficiente do momento equivalente C_{mLT} de acordo com a Tabela B.3 para $\psi = 0$ é obtido como:

$$C_{m_y} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 \quad \text{onde} \quad \alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{10} = 0$$

$$k_{yy} = C_{m_y} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) \leq C_{m_y} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (0,629 - 0,2) \cdot 0,286) \leq 0,95 \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,286) = \underline{\underline{1,067}} \leq 1,167$$

$$k_{yz} = 0,60 \cdot k_{zz} = 0,60 \cdot 1,481 = \underline{\underline{0,888}}$$

Coefficiente de interação k_{zy} e k_{zz}

Determinação de acordo com [1], Anexo B, Tabela B.2, para componentes estruturais suscetíveis de deformações por torção

O coeficiente do momento equivalente C_{mLT} de acordo com a Tabela B.3 para $\psi = 0$ é obtido como:

$$C_{m_z} = 0,90 + 0,01 \cdot \alpha_h = 0,90 \quad \text{onde} \quad \alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{10} = 0$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 1,053}{0,95 - 0,25} \cdot 0,461 \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot 0,461 \right) = 0,892 \leq 0,934$$

$$k_{zy} = \underline{\underline{0,934}}$$

$$k_{zz} = C_{m_z} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) \leq C_{m_z} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,90 \cdot (1 + (2 \cdot 1,053 - 0,6) \cdot 0,461) \leq 0,90 \cdot (1 + 1,4 \cdot 0,461) = 1,525 \geq 1,481$$

$$k_{zz} = \underline{\underline{1,481}}$$

Dimensionamento de interação para a encurvadura sobre o eixo principal e para a encurvadura por flexão torção

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1 \quad \text{de acordo com [1], Eq.(6.61)}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 354 \cdot 23,5 = 8319 \text{ kNcm} = 83,19 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 169,96 \cdot 23,5 = 3994,1 \text{ kNcm} = 39,94 \text{ kNm}$$

$$\frac{300}{0,822 \cdot 1276,05/1,0} + 1,067 \cdot \frac{10,0}{0,908 \cdot 83,19/1,0} + 0,888 \cdot \frac{7,50}{39,94/1,0} = \underline{\underline{0,594}} \leq 1$$

Dimensionamento de interação para a encurvadura sobre o eixo principal e para a encurvadura por flexão torção

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1 \quad \text{de acordo com [1], Eq.(6.62)}$$

$$\frac{300}{0,510 \cdot 1276,05/1,0} + 0,934 \cdot \frac{10,0}{0,908 \cdot 83,19/1,0} + 1,481 \cdot \frac{7,50}{39,94/1,0} = \underline{\underline{0,863}} \leq 1$$

Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

Peso da secção	h	160,0	mm		
Largura da secção	b	160,0	mm		
Critério	h/b	1,00		≤ 2	Separador 6.5
Curva de encurvadura	K_{LT}	b			Tabela 6.5
Coefficiente de imperfeição	α_{LT}	0,340			Tabela 6.3
Módulo de corte	G	8 100,00	kN/cm ³		
Coefficiente de comprimento	k_z	1,000			
Coefficiente de comprimento	k_w	1,000			
Comprimento	L	4,000	m		
Constante de empenamento da secção	I_w	47 940,00	cm ⁶		
Constante de torção	I_t	31,40	cm ⁴		
Momento elástico crítico para LTB para a determinação da esbelteza relativa	$M_{cr,0}$	190,90	kNm		
Distribuição do momento	Diagrama M_y	6) Parábola			
Momento de afundamento máximo	$M_{y,max}$	10,00	kNm		
Momento de fronteira	$M_{y,A}$	0,00	kNm		
Relação de momento	ψ	0,000			
Coefficiente de momento	C_1	1,130			[2]
Momento elástico crítico ideal	M_{cr}	215,71	kNm		
Módulo da secção elástica	W_y	354,00	cm ³		
Esbelteza	λ_{LT}	0,621			6.3.2.2(1)
Parâmetro	$\lambda_{LT,0}$	0,400			6.3.2.3(1)
Parâmetro	β	0,750			6.3.2.3(1)
Coefficiente auxiliar	ϕ_{LT}	0,682			6.3.2.3(1)
Coefficiente de redução	χ_{LT}	0,908			Eq. (6.57)
Coefficiente de correção	k_c	0,940			6.3.2.3(2)
Coefficiente de alteração	f	0,972			6.3.2.3(2)
Coefficiente de redução	$\chi_{LT,mod}$	0,934			Eq. (6.58)

Distribuição do momento	Diagrama M_y	3) Máx no vão		Tab. B.3
Coefficiente do momento	ψ_y	1,000		Tab. B.3
Momento	$M_{h,y}$	0,00	kNm	Tab. B.3
Momento	$M_{s,y}$	10,00	kNm	Tab. B.3
Relação $M_{h,y}/M_{s,y}$	$\alpha_{h,y}$	0,000		Separador B.3
Tipo de carga	Carga z	Carga uniforme		Tab. B.3
Coefficiente de momento	C_{my}	0,950		Tab. B.3
Distribuição de momento	Diagrama M_z	3) Máx no vão		Tab. B.3
Coefficiente do momento	ψ_z	1,000		Tab. B.3
Momento	$M_{h,z}$	0,00	kNm	Tab. B.3
Momento	$M_{s,z}$	7,50	kNm	Tab. B.3
Relação $M_{h,z}/M_{s,z}$	$\alpha_{h,z}$	0,000		Separador B.3
Tipo de carga	Carga y	Carga concentrada		Tab. B.3
Coefficiente de momento	C_{mz}	0,900		Tab. B.3
Distribuição de momento	Diagrama $M_{y,LT}$	3) Máx no vão		Tab. B.3
Coefficiente do momento	$\psi_{y,LT}$	1,000		Separador B.3
Momento	$M_{h,y,LT}$	0,00	kNm	Tab. B.3
Momento	$M_{s,y,LT}$	10,00	kNm	Tab. B.3
Relação $M_{h,y,LT}/M_{s,y,LT}$	$\alpha_{h,y,LT}$	0,000		Separador B.3
Tipo de carga	Carga z	Carga uniforme		Tab. B.3
Coefficiente de momento	C_{mLT}	0,950		Tab. B.3
Tipo de componente	Componente	Baixa resistência à tracção		
Coefficiente de interação	k_{yy}	1,067		Tab. B.2
Coefficiente de interação	k_{yz}	0,888		Tab. A.1
Coefficiente de interação	k_{zy}	0,934		Tab. A.1
Coefficiente de interação	k_{zz}	1,481		Tab. A.1
Força axial (Compressão)	N_{Ed}	300,00	kN	
Área da secção	A_i	54,30	cm ²	Tab. A.1
Resistência à compressão	N_{Rk}	1 276,05	kN	Tab. A.1
Coefficiente parcial	γ_{M1}	1,000		6.1

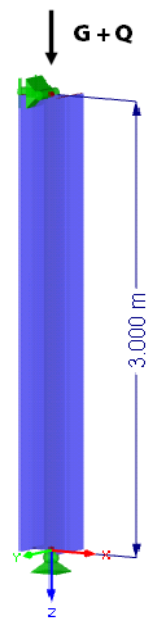
Componente de dimensionamento para N	γ_{Ny}	0,29		≤ 1	Eq. (6.61)
Componente de dimensionamento para N	h_{Nz}	0,46		≤ 1	Eq. (6.62)
Momento	$M_{y,Ed}$	10,00	kNm		
Momento resistente	$M_{y,Rk}$	83,19	kNm		Separador 6.7
Componente do momento	η_{My}	0,13			Eq. (6.61)
Momento	$M_{z,Ed}$	7,50	kNm		
Módulo da secção elástica	W_z	169,96	cm ³		
Momento resistente	$M_{z,Rk}$	39,94	kNm		Separador 6.7
Componente do momento	η_{Mz}	0,19			Eq. (6.61)
Dimensionamento 1	η_1	0,59		≤ 1	Eq. (6.61)
Dimensionamento 2	η_2	0,86		≤ 1	Eq. (6.62)

Tabela 8.4: Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

2.1 Resistência ao fogo

Neste exemplo, realiza-se a verificação ao fogo de um pilar de aço.

Sistema e cargas



Secção do pilar: HE-B 300, Aço S 235

Sistema: Pilar articulado, $\beta = 1,0$

Altura do sistema: 3,00 m

Carregamento: $G_K = 1\,200$ kN

$Q_K = 600$ kN

Figura 8.3: Sistema e cargas

Verificação do estado limite último para a temperatura do quarto

Encurvadura por flexão sobre o eixo menor (eixo \perp até z-z)

$$N_{cr,z} = \frac{21\,000 \cdot 8\,560,00 \cdot \pi^2}{300,00^2} = 19\,712,90 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{149,0 \cdot 24,0}{19\,712,90}} = 0,426$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,426 > 0,2 \quad \rightarrow \text{Tem de ser realizado o dimensionamento para a encurvadura por flexão}$$

Geometria da secção $h/b = 1,00 \leq 1,2$ Aço estrutural S 235 $t \leq 100$ mm

[1], Tabela 6.2, linha 3, coluna 4: Curva de encurvadura c

$$\Rightarrow \alpha_z = 0,49 \quad (\text{Tabela 6.1})$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,426 - 0,2) + 0,426^2] = 0,646$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,646 + \sqrt{0,646^2 - 0,426^2}} = 0,884$$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot G_K + 1,5 \cdot Q_K = 1,35 \cdot 1\,200 + 1,5 \cdot 600 = 2\,520 \text{ kN}$$

Relação de dimensionamento

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{2\,520}{0,884 \cdot 149,0 \cdot 24,0 / 1,1} = 0,877 \leq 1,0$$

Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

Momento de inércia	I_z	8 560,00	cm ⁴		
Comprimento efetivo da barra	$L_{cr,z}$	3,000	m		
Força elástica de encurvadura por flexão	$N_{cr,z}$	19 712,9	kN		
Esbelteza	λ_z	0,4 259		> 0,2	6.3.1.2(4)
Curva de encurvadura	KL_z		c		Separador 6.2
Coefficiente de imperfeição	α_z	0,490			Separador 6.1
Coefficiente auxiliar	Φ_z	0,646			6.3.1.2(1)
Coefficiente de redução	χ_z	0,884			Eq. (6.49)
Resistência á encurvadura	$N_{b,z,Rd}$	2 872,27	kN		Eq. (6.47)
Relação de dimensionamento	η	0,877		≤ 1,0	Eq. (6.46)

Tabela 8.5: Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

Verificação da resistência ao fogo

Após a exposição ao fogo de 90 mín. a temperatura principal do aço é de 524 °C, de acordo com a curva padrão temperatura-tempo.

Como resistência ao fogo do material, é utilizado um revestimento em forma de caixa GRP (plástico reforçado com vidro), tem as seguintes propriedades.

Unidade de massa $\rho_p = 945,0 \text{ kg/m}^3$

Condutividade térmica $\lambda_p = 0,20 \text{ W/K}$

Calor específico: $c_p = 1 700 \text{ J/kgK}$

Espessura: $d_p = 18 \text{ mm}$

Determinação dos coeficientes de redução

$k_{y,\theta} = 0,703$ de acordo com [2], Tabela 3.1

$k_{E,\theta} = 0,528$ de acordo com [2], Tabela 3.1

Dimensionamento na situação de fogo de acordo com [2]. 4.2.3.2

Coefficiente de imperfeição α :

$$\alpha = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{240}} = 0,643$$

Relação de esbelteza adimensional $\bar{\lambda}_{\theta}$:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right]^{0,5} = 0,426 \cdot \left[\frac{0,703}{0,528} \right]^{0,5} = 0,491$$

Coefficiente auxiliar:

$$\Phi_{\theta} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2 \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + 0,643 \cdot 0,491 + 0,491^2 \right] = 0,778$$

Coefficiente de redução para a encurvadura por flexão na verificação ao fogo:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} = \frac{1}{0,778 + \sqrt{0,778^2 - 0,491^2}} = 0,723$$

Resistência à encurvadura do componente estrutural sujeito à compressão:

$$N_{b,fi,Rd} = \frac{\chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \frac{0,723 \cdot 149,0 \cdot 0,703 \cdot 24}{1,0} = 1\,817,83$$

Carregamento no caso de fogo:

$$N_{fi,Ed} = 1,0 \cdot G_k + 0,9 \cdot Q_k = 1,0 \cdot 1\,200 + 0,9 \cdot 600 = 1\,740 \text{ kN}$$

Relação de dimensionamento

$$\eta = \frac{N_{fi,Ed}}{N_{b,fi,Rd}} = \frac{1\,740}{1\,817,83} = 0,957 \leq 1,0$$

Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

Coefficiente de redução	$k_{y,\theta}$	0,703			[2], Tab. 3.1
Coefficiente de redução	$k_{E,\theta}$	0,528			[2], Tab. 3.1
Esbelteza	$\lambda_{z,\theta}$	0,4915			[2], Eq. (4.7)
Coefficiente de imperfeição	α	0,6432			[2], 4.2.3.2(2)
Coefficiente auxiliar	$\Phi_{z,\theta}$	0,778			[2], 4.2.3.2(2)
Coefficiente de redução	$\chi_{z,fi}$	0,723			[2], Eq. (4.6)
Resistência à encurvadura	$N_{b,fi,z,\theta,Rd}$	1 817,83	kN		
Relação de dimensionamento	η	0,957		$\leq 1,0$	[2], Eq. (4.1)

Tabela 8.6: Valores de resultados do cálculo do RF-STEEL EC3

Bibliografia

- (2005). *EN 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- (2006). *EN 1993-1-2: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- (2006). *EN 1993-1-4: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-4: Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Naumes, J., Strohmam, I., Ungermann, D. and Sedlacek, G. (2008). Die neuen Stabilitätsnachweise im Stahlbau nach Eurocode 3. *Stahlbau*, 77.
- Naumes, J., Feldmann, M. and Sedlacek, G. (2010). *Biegeknicke und Biegedrillknicken von Stäben auf einheitlicher Grundlage*, volume 70. Shaker Verlag.
- (2006). *EN 1993-1-3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- (2006). *EN 1993-1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- (2007). *EN 1993-2: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 2: Stahlbrücken*. Brüssel: CEN.
- (2002). *EN 1991-1-2: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- (2005). *EN 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Índice

A			
Abrir RF-STEEL EC3	4	Comentário	7, 26
Acidental	9	Comprimento	23, 63
Anexo Nacional	7, 11	Comprimento de barra equivalente	23
Análise de deformação	10, 33	Comprimento de referência	10
Análise de estabilidade	9	Comprimento do painel de corte	37, 39
Análise de estabilidade	12, 24, 45, 46, 56	Comprimento efetivo	23, 24, 26, 82
Aplicação da carga	47	Condições de fronteira	36
Apoio nodal	28	Configuração detalhada	44
Articulação de barra	32	Conjunto de barras	28
Avaliação de resultados	66	Conjunto de barra	57
Aço inoxidável	15, 18	Conjunto de barras	7, 26, 32, 33, 43, 48, 57, 61
		Consola	22, 33
B		Contra flecha	33
Barra	7	Contraventamento	38, 39
Biblioteca de materiais	17	Curva de Encurvadura	21
Biblioteca de seções	18	Curva de temperatura	49
		Curva Europeia da encurvadura por flexão	
C		torção	12
combinação de carga	9	Cálculo	44
conjunto de barras	64		
		D	
B		Dados gerais	6
Botões	66	Deformação	10
		Deformação da ligação	40
C		Deformação limite	49
cálculo da tração	43	Descrição do material	16
Característico	10	Diagonal	39
Carga transversal	47	Diagrama de resultados	71, 75
Carregamento	60	Dimensionamento	7, 54, 56, 57, 58, 60
Casas decimais	16, 81	Dimensionamento da secção	56
Caso de carga	8, 10	Dimensionameto	55
Caso de dimensionamento	69, 77, 78	Dimensionar lamias	51
Casos de carga	9	Disposição do elemento de ligação	37
Casos especiais	47		
Chapa ondulada	40	E	
Chapa trapezoidal	37, 39	Efeito da viga contínua	41, 42
Classe de secção	45	Eixo	24
Classificação	19, 45	Encurvadra por flexão	24
Coefficiente comprimento de empenamento	25	Encurvadura	24
Coefficiente comprimento efetivo	25	Encurvadura por flexão	22, 46
Coefficiente de majoração	46	Encurvadura por flexão torção	12, 22, 25, 85, 88
Coefficiente do comprimento de empenamento	24	Esbelteza	62
Coefficientes parciais	12	Esbelteza da barra	51, 62
Combinação de resultados	10	Escala de cor	75
Combinação de resultados	9, 66	Escala de cores	72
Combinações de carga	9	Esforços internos	60, 80
Combinações de resultados	9	Espaçamento da viga	37, 40, 42
		Espaçamento de viga	42
		Espaçamento de vigas	39, 41

Estado limite de utilização	8, 10, 33, 48, 66	Método de barra equivalente	32
Estado limite último	8, 44, 66	Método geral	48
Excel	83	N	
Exibir diagrama de resultados ocultados	73	Naumes	12, 13
Exibir resultados	69	Navegador	6
Exportar	82	Navegador mostrar	69, 73
Exportar cumprimentos efetivos	82	O	
Exportar materiais	82	Observação	20
Exportar secções	80	OpenOffice	83
Exposição ao fogo	34	Optimização	19, 51
Extremidade de barra deslocada	48	Optimização da secção	51
Extremidade do painel	41, 42	Otimização	79, 80
F		Otimização da secção	79
Favoritos	79	P	
Filtrar barras	73	Painel	5, 70, 72
Filtro	67, 72, 73	Painel de controlo	72
Frequente	10	Painel de corte	37
G		Painel interno	41, 42
Gráfico plano de fundo	67	Parte	63
Gráfico RFEM	71, 75	Parâmetro	36, 43
Gráficos	69	Perfil do utilizador	81
I		Permanente	9
instalação	4	Peso	64
Impressão gráfica	75, 76	Pilar	39
Informação sobre a secção	20	Pilares	39
Iniciar o cálculo	52	Ponte de aço	49
Iniciar programa	4	Ponto de tensão	21
Interação	46	Posição x	55, 60
J		Propriedades do material	17
Janela de resultados	54	Propriedades dos materiais	16
Janela de trabalho do RFEM	69, 72	Q	
L		Quase permanente	10
Lista de barras	33	R	
Lista de partes	63, 64	Rede de fluxo de calor	49
M		Relativamente	22
Madre	42	Relatório de impressão	74, 76
Material	16, 82	Relaxamento da alma	49
Modo de visualização	67, 68	Relação de dimensionamento	19, 55, 56
Mola rotacional	42	Representação colorida do dimensionamento	72
Momento elástico crítico para a encurvadura por flexão torção	47	Resistência ao fogo	11, 34, 49, 93
Mostrar	72	Resistência do painel de corte	40
Mostrar barras de cores	66	Restrição lateral e torcional	22, 26
Método adaptado	12	Restrição rotacional	40
Método da barra equivalente	26, 28, 48	Restrição rotacional contínua	40
Método de análise de estabilidade	48	Restrição rotacional discreta	41
		Restrições laterais	22

Restrições laterais intermédias	22	Temporária	9
Revestimento tubular	34	Tipo de barra	33
RF-STABILITY	24	Tipo de modelo	47
RF-STEEL EC3	6	Tipo de proteção	34
Rigidez da mola de rotação C_{100}	40	Tipo de seção	19
		Torção	47
S		U	
Scroll nas janelas	6	Unidades	16, 81
Secção	36, 63	V	
Secção parametrizada	79	Valores de resultados	69
Secção variável	47, 56, 81	Valores limite	7, 10, 11, 47
Secções	79	Verificação da estabilidade	15, 47
Segunda ordem análise	45	Verificação da resistência ao fogo	49, 66
Segunda ordem ordem	46	Visibilidade	72
Seção variável	20	Volume	64
Seções	18	A	
SHAPE-THIN	45	área da secção	43
Sistema não deformado	48	Área da secção líquida	43
Situação de cálculo	9	Área de superfície	64
Situação de dimensionamento	9, 56	Área de transferência	83
Soma	64		
T			
Tabela	6		