

PFF — ESTRUTURAS DE AÇO EM PERFIS FORMADOS A FRIO

BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES

NOTAS DE AULA

Luciano Barbosa dos Santos
Professor CTEC/UFAL

(2020)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Aviso Importante:

O usuário é o único responsável por todo e qualquer uso que venha a fazer deste material, cabendo ao próprio usuário verificar e validar as informações nele apresentadas, ficando as instituições e os autores nele mencionados isentos de quaisquer responsabilidades legais ou de qualquer outra natureza. Ao fazer uso deste material o usuário declara concordar com os termos apresentados.

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

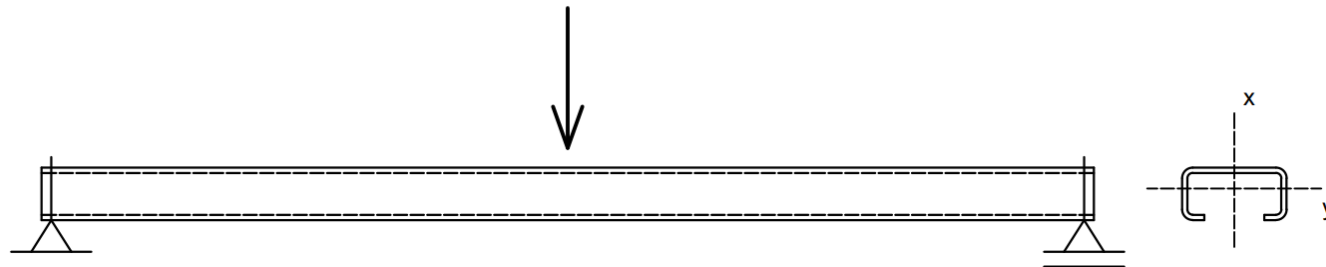
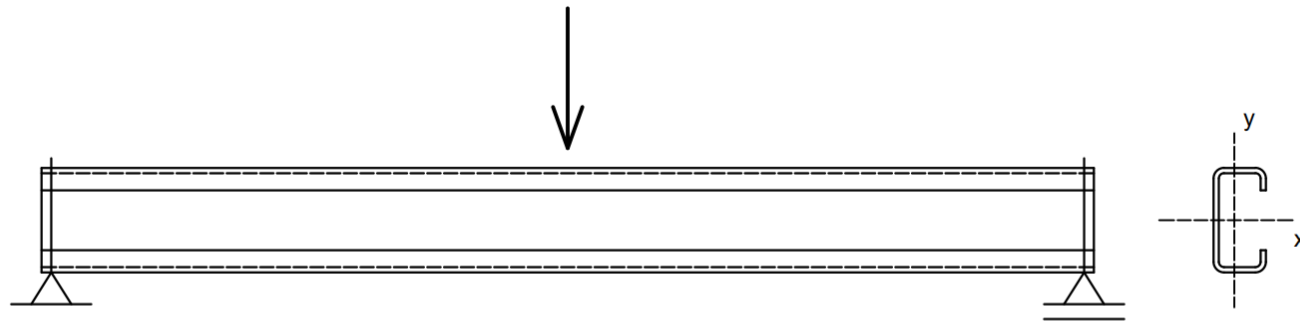
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



| Estados-Limites Últimos | Estado-Limite de Serviço |
|--|--------------------------|
| $M_{Rd} \geq M_{Sd}$ $V_{Rd} \geq V_{Sd}$ | $\Delta \geq \delta$ |

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

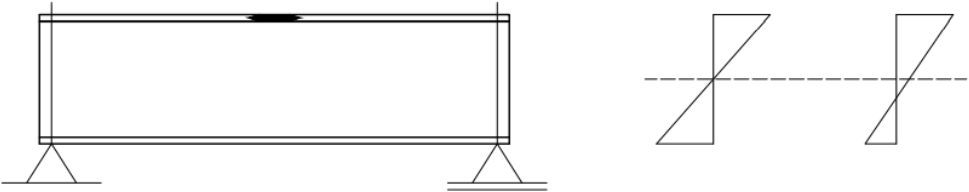
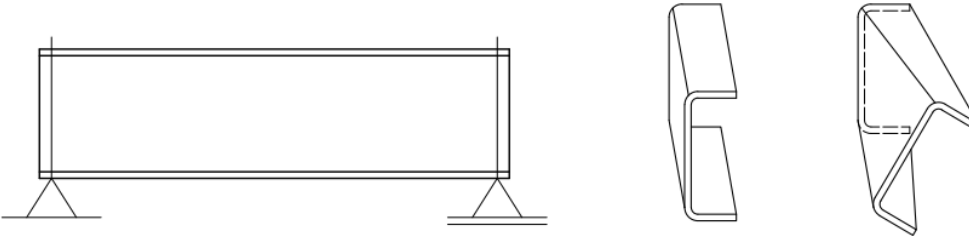
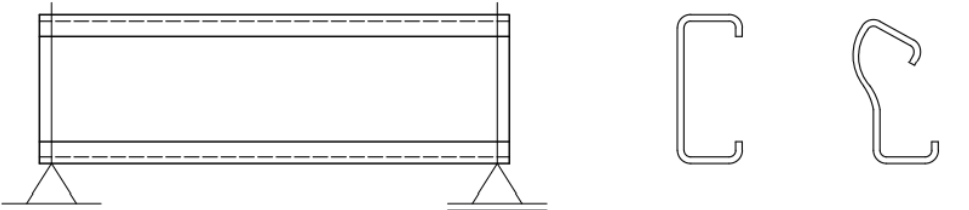
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

VERIFICAÇÕES RELACIONADAS AO MOMENTO FLETOR

| | |
|--|--|
| <p>Início de Escoamento da Seção Efetiva</p> |  |
| <p>Instabilidade Lateral com Torção ("FLT")</p> |  |
| <p>Instabilidade Distorcional</p> |  |

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

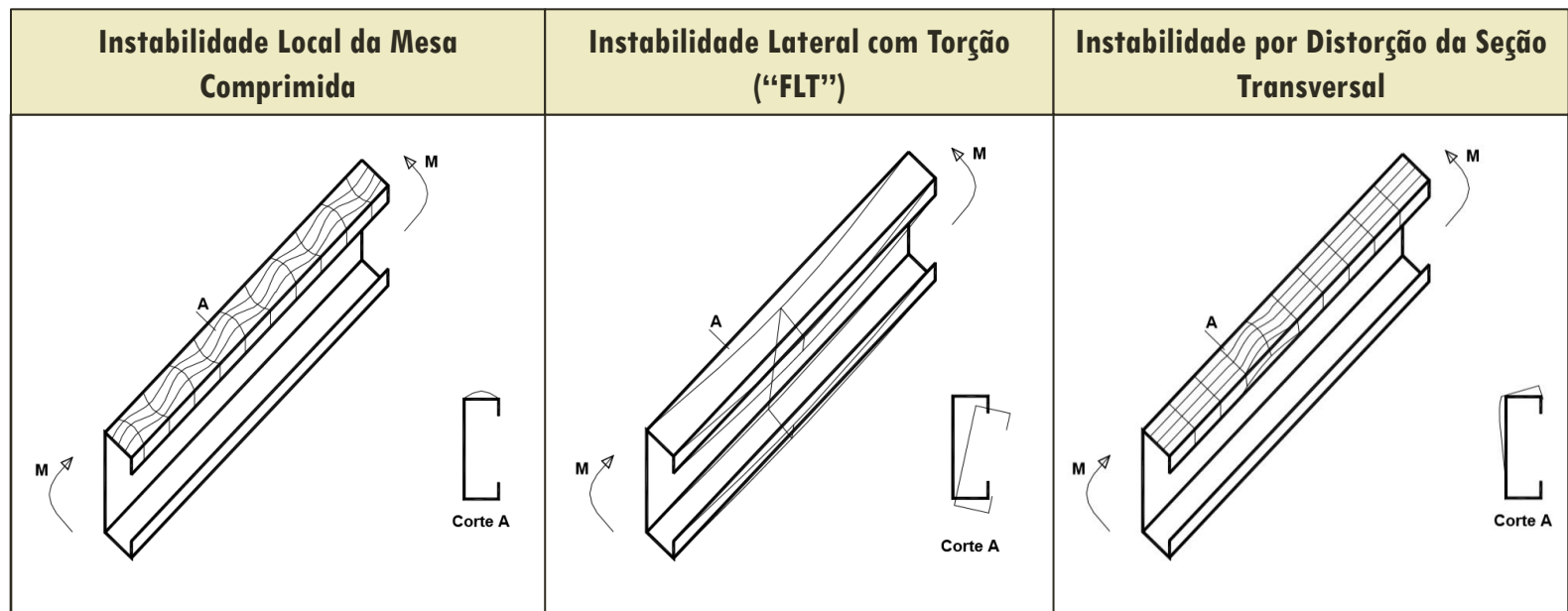
Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Fonte: JAVARONI (1999)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento Fletor

Esforço Cortante

Verificação dos Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Determinação do Esforço Resistente (M_{Rd})

$$M_{Rd(y)} = \frac{W_{ef} f_y}{\gamma}$$

$$M_{Rd(ft)} = \frac{\chi_{flt} W_{c,ef} f_y}{\gamma}$$

$$M_{Rd(dist)} = \frac{\chi_{dist} W f_y}{\gamma}$$

$$\gamma = 1,10$$

INSTABILIDADE LOCAL/PLASTIFICAÇÃO DA MESA COMPRIMIDA



Fonte: VIEIRA (2010)



Fonte: VIEIRA (2010)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

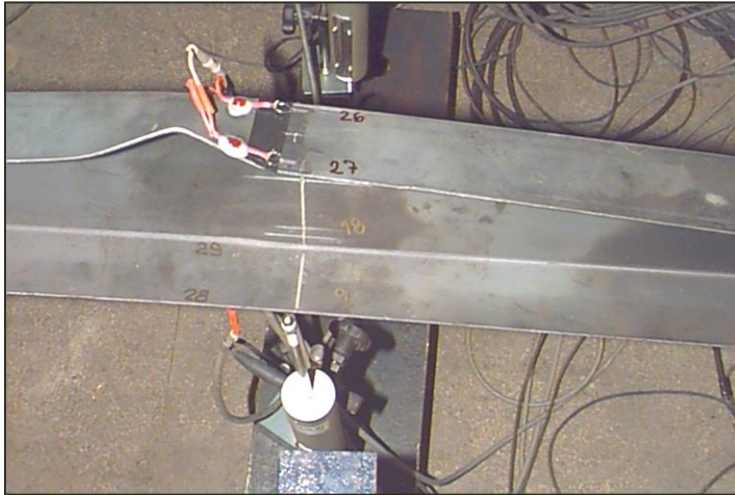
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios

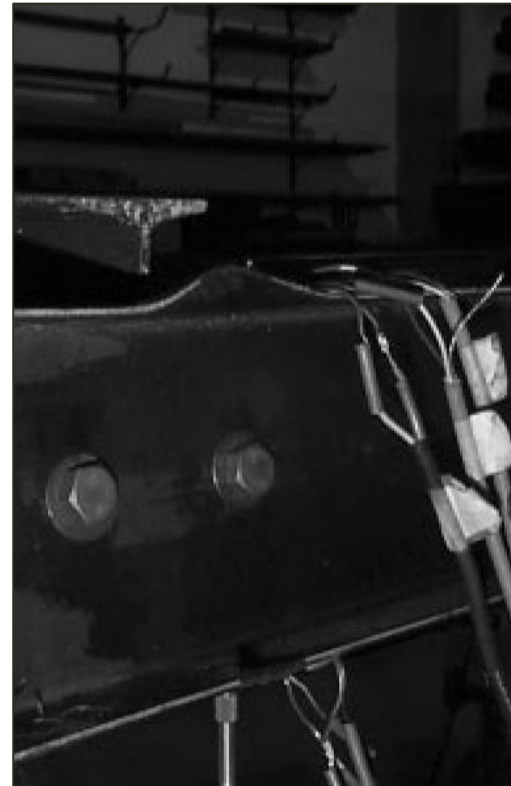


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgal 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE LOCAL DA MESA COMPRIMIDA



Fonte: JAVARONI (1999)



Fonte: JAVARONI (1999)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-CompartilheIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE LOCAL DA ALMA



Fonte: GIGLIO (2016)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

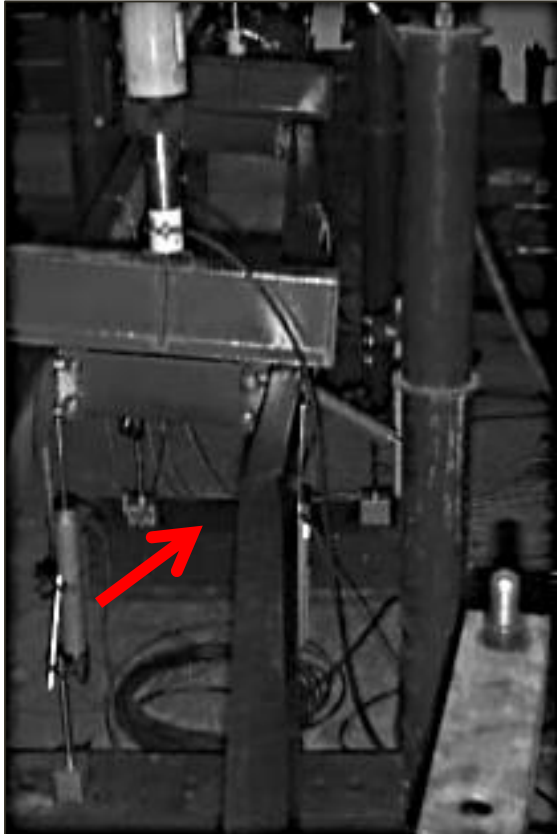
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios

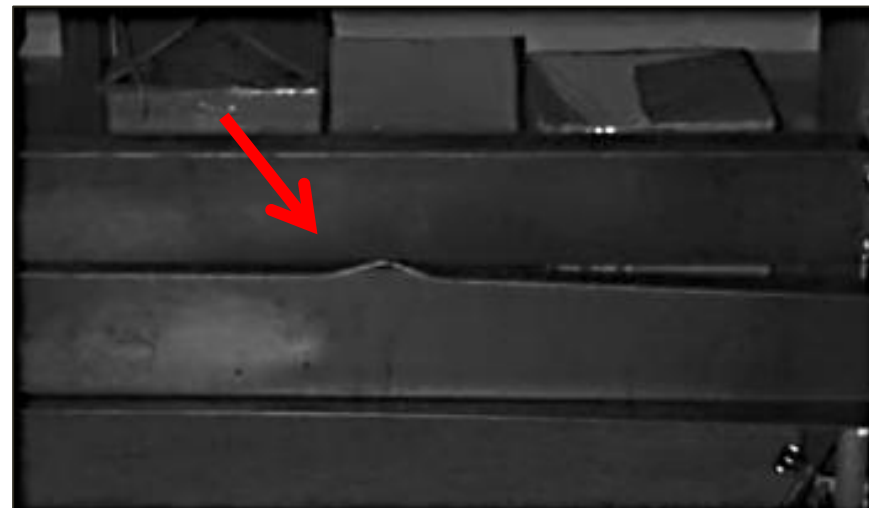


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhaval 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE LATERAL COM TORÇÃO



Fonte: JAVARONI (1999)



Fonte: JAVARONI (1999)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE POR DISTORÇÃO



Fonte: SILVA (2018)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE POR DISTORÇÃO



Fonte: SILVA (2018)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE POR DISTORÇÃO



VIEIRA (2010)



VIEIRA (2010)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgal 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 1 – MOMENTO FLETOR

Início do Escoamento da Seção Efetiva e Instabilidade Lateral com Torção

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



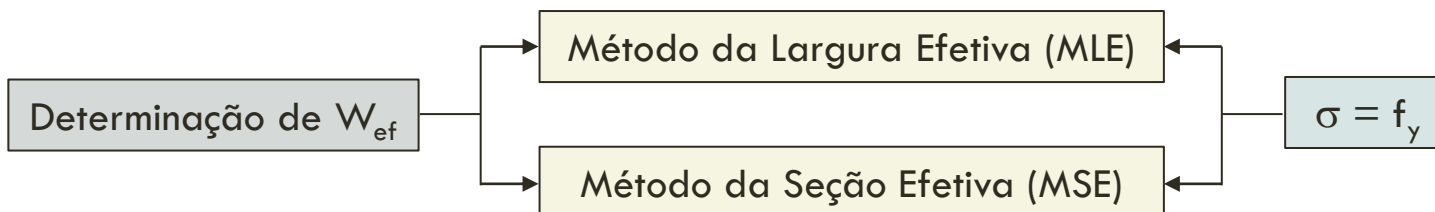
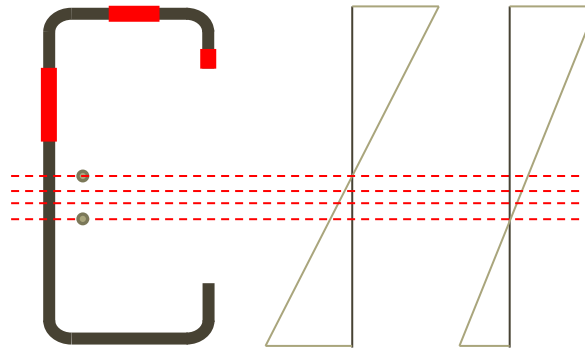
O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA

W_{ef} é o módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema que atinge o escoamento, calculado com base no MLE e MSE.

$$M_{Rd(y)} = \frac{W_{ef} f_y}{\gamma}$$

Fator de Minoração da Resistência
($\gamma = 1,10$)



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE LATERAL COM TORÇÃO

$$M_{Rd(FLT)} = \frac{\chi_{flt} W_{c,ef} f_y}{\gamma}$$

Fator de Minoração da Resistência
($\gamma = 1,1$)

$$\chi_{FLT} = 1,0 \text{ para } \lambda_0 \leq 0,6$$

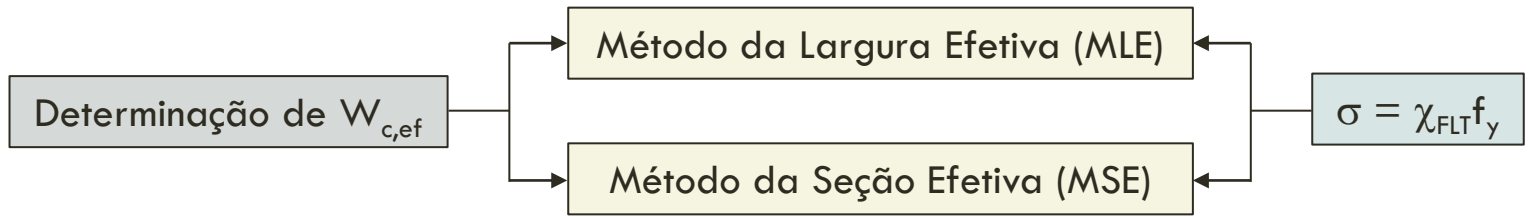
$$\chi_{FLT} = 1,11(1 - 0,278\lambda_0^2) \text{ para } 0,6 < \lambda_0 < 1,336$$

$$\chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 \geq 1,336$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\left(\frac{W_c \sigma}{M_e}\right)}$$

M_e = Momento crítico de flambagem lateral com torção

$W_{c,ef}$ = Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema comprimida, calculado com base no MLE ou no MSE.



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC


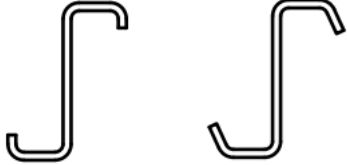

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

MOMENTO FLETOR CRÍTICO (M_e) EM RELAÇÃO AO EIXO X-X

| | | |
|--|--|---|
| <p>Barras com seções duplamente simétricas e monossimétricas, sujeitas a flexão em torno do eixo de simetria (eixo x).</p> | $M_e = C_b r_0 \sqrt{N_{ey} N_{ez}}$ |  |
| <p>Barras com seção Z ponto-simétrica, com carregamento no plano da alma.</p> | $M_e = 0,5 C_b r_0 \sqrt{N_{ey} N_{ez}}$ |  |
| <p>Barras com seção fechada (caixão), sujeitas à flexão em torno do eixo x.</p> | $M_e = C_b \sqrt{N_{ey} GJ}$ |  |

N_{ey} , N_{ez} e r_0 conforme definidos no item sobre elementos comprimidos, considerando $k_y=1,0$ e $k_z=1,0$.

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples

Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

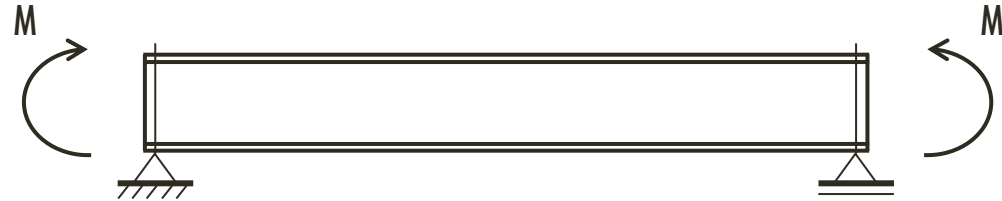
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios

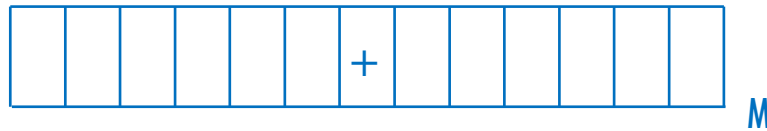


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLIS: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

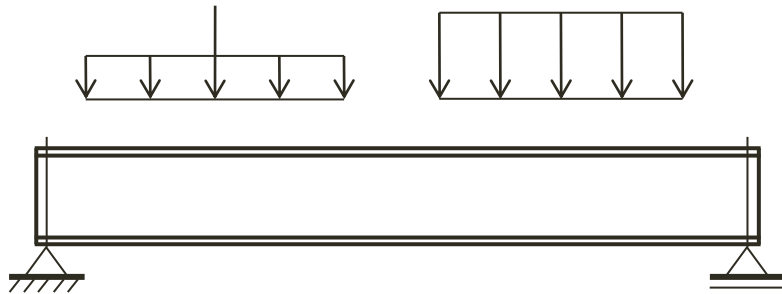
O COEFICIENTE DE MODIFICAÇÃO C_b



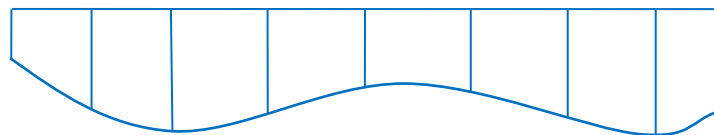
D.M.F.



$$C_b = 1,0$$



D.M.F.



$$C_b \geq 1,0$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios

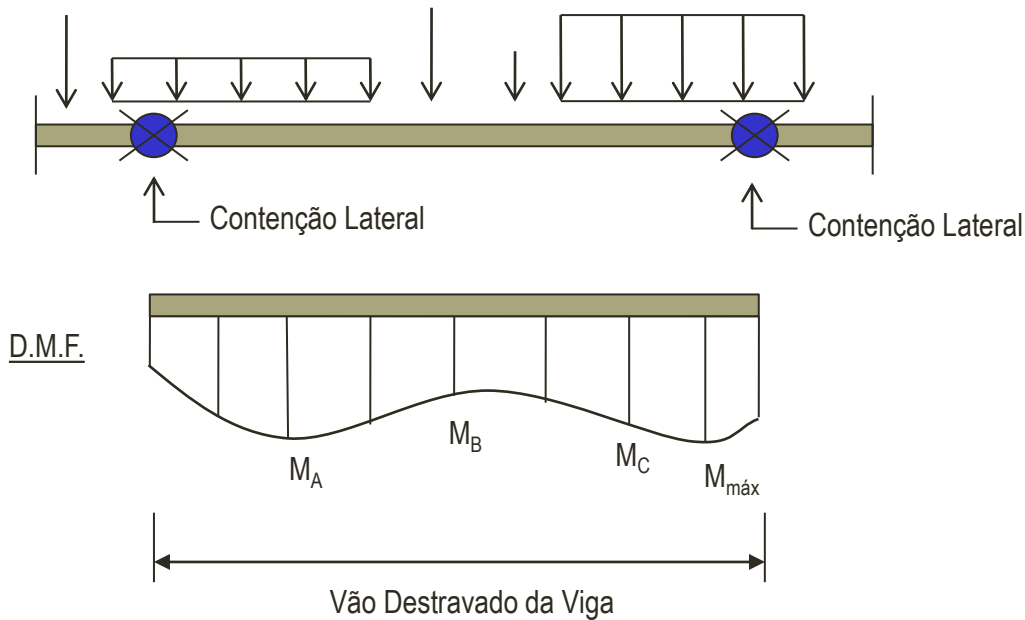


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE MODIFICAÇÃO C_b

$$C_b = \frac{12,5M_{m\acute{a}x}}{2,5M_{m\acute{a}x} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

Momento Máximo no vão destravado
Momentos a 1/4, 1/2 e 3/4 do vão destravado



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

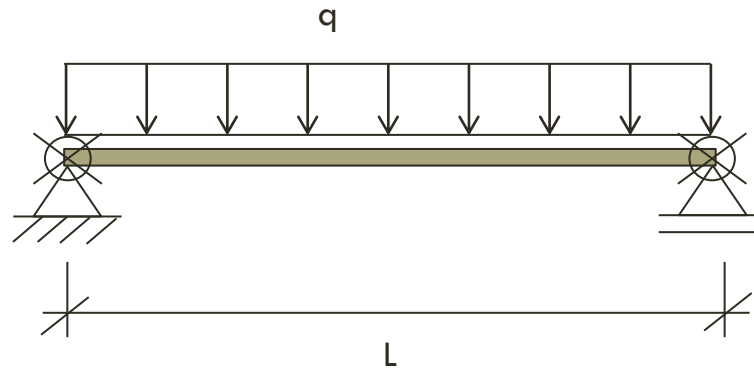
Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE MODIFICAÇÃO C_b

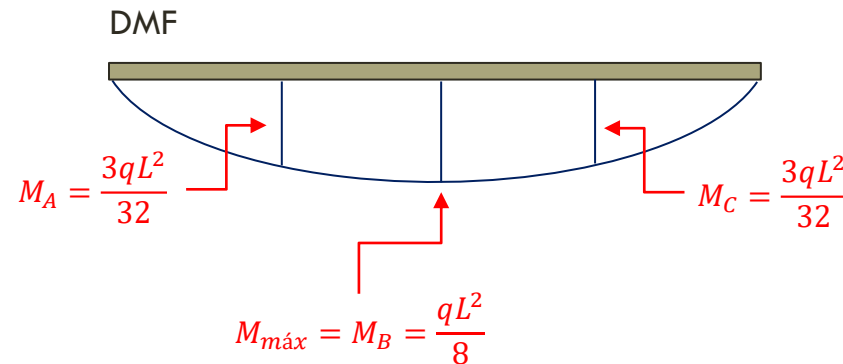
C_b para vigas simplesmente apoiadas, submetida a carregamento uniformemente distribuído e com travamentos laterais apenas nos apoios.



$$C_b = \frac{12,5M_{m\acute{a}x}}{2,5M_{m\acute{a}x} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times \frac{qL^2}{8}}{2,5 \times \frac{qL^2}{8} + 3 \times \frac{3qL^2}{32} + 4 \times \frac{qL^2}{8} + 3 \times \frac{3qL^2}{32}}$$

$$C_b = 1,13$$



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

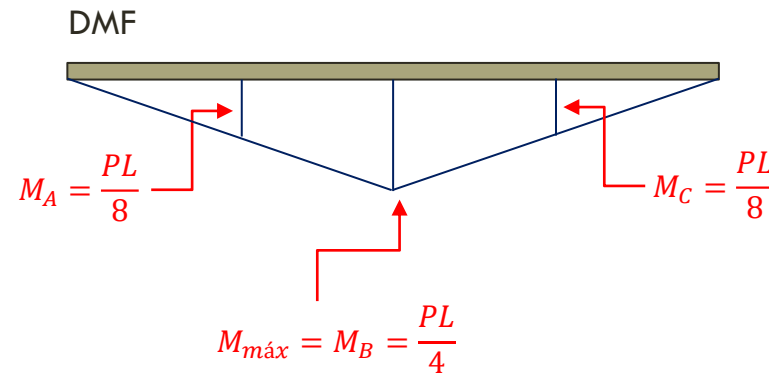
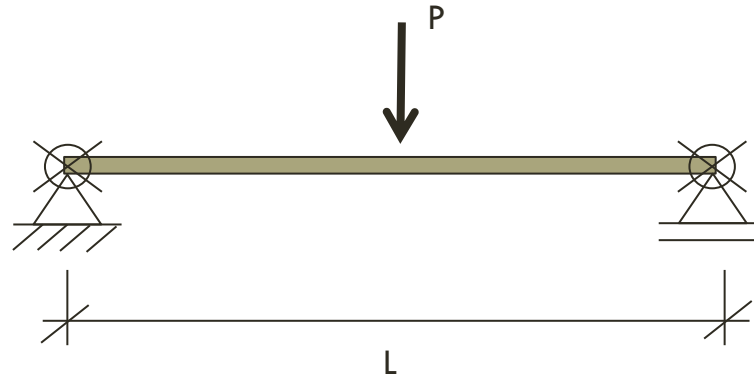
Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE MODIFICAÇÃO C_b

C_b para vigas simplesmente apoiadas submetida a uma carga concentrada aplicada no meio do vão e com travamentos laterais apenas nos apoios.



$$C_b = \frac{12,5M_{m\acute{a}x}}{2,5M_{m\acute{a}x} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times \frac{PL}{4}}{2,5 \times \frac{PL}{4} + 3 \times \frac{PL}{8} + 4 \times \frac{PL}{4} + 3 \times \frac{PL}{4}}$$

$$C_b = 1,31$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

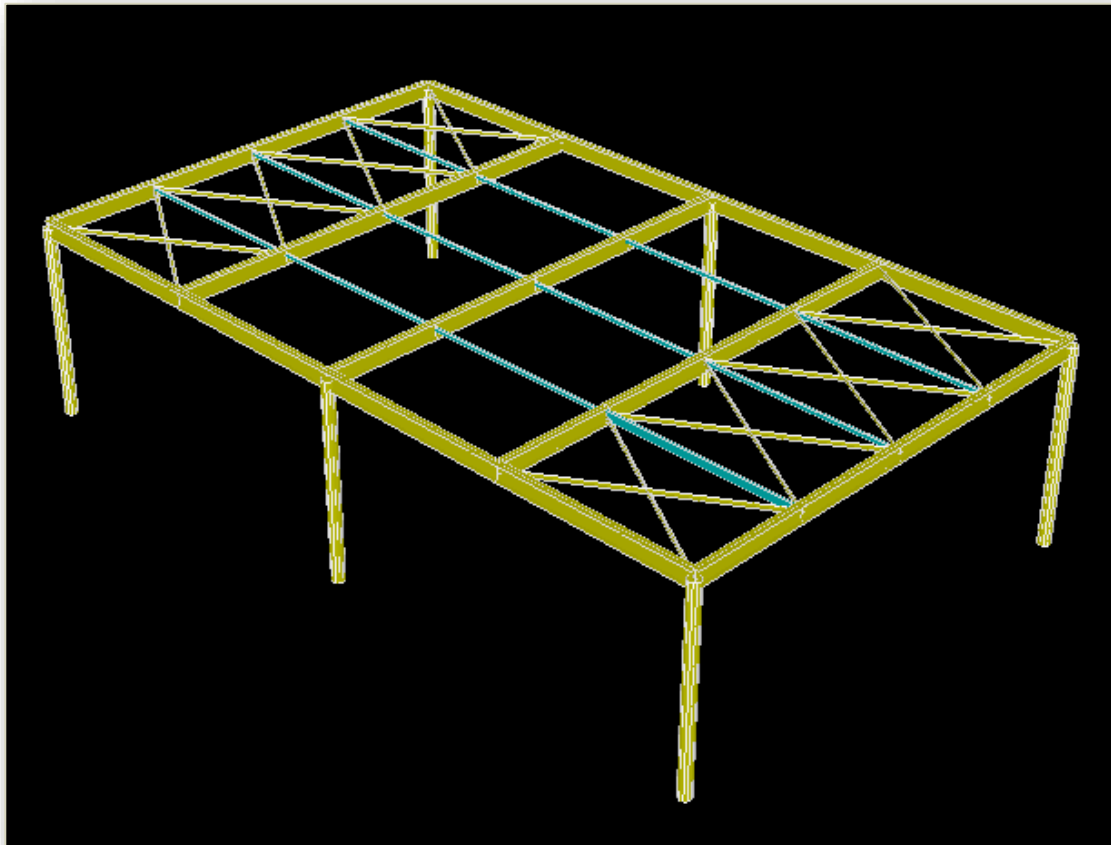
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

COMPRIMENTO DESTRAVADO



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

MOMENTO FLETOR CRÍTICO (M_e) EM RELAÇÃO AO EIXO Y-Y

Anexo E



Momento fletor de flambagem lateral com torção, em regime elástico, para barras com seção monossimétricas, sujeitas à flexão em torno do eixo perpendicular ao eixo de simetria

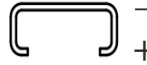
$$M_e = \frac{C_s N_{ex}}{C_m} \left[J + C_s \sqrt{J^2 + r_o^2 \left(\frac{N_{ez}}{N_{ex}} \right)} \right]$$


{

$C_s = +1$ Se o momento fletor causar compressão na parte da seção com coordenada x negativa, ou seja, do mesmo lado que o centro de torção

$C_s = -1$ Se o momento fletor causar tração na parte da seção com coordenada x negativa, ou seja, do mesmo lado que o centro de torção

$C_m = 0,6 - 0,4(M_1/M_2)$





$$J = \frac{1}{2I_y} \left[\int_A x^3 dA + \int_A xy^2 dA \right] + x_0$$

Para seções U, Ue e Cr: $J = \frac{1}{2I_y} [\beta_w + \beta_f + \beta_l] + x_0$

$$\beta_w = - \left[\frac{tx_m a_m^3}{12} + tx_m^3 a_m \right]$$

$$\beta_f = \frac{t}{2} [(b_m - x_m)^4 - x_m^4] + \frac{ta_m^2}{4} [(b_m - x_m)^2 - x_m^2]$$


Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

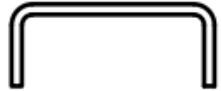

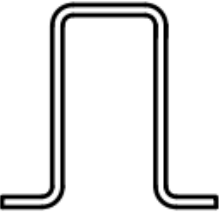
Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).


| | |
|---|---|
|  | $\beta_l = 0$ $x_m = \frac{b_m^2}{a_m + 2b_m}$ $x_0 = b_m \left(\frac{3a_m^2 b_m}{a_m^3 + 6a_m^2 b_m} \right) + x_m$ |
|  | $\beta_l = 2c_m t (b_m - x_m)^3 + \frac{2}{3} t (b_m - x_m) \left[\left(\frac{a_m}{2} \right)^3 - \left(\frac{a_m}{2} - c_m \right)^3 \right]$ $x_m = \frac{b_m (b_m + 2c_m)}{a_m + 2b_m + 2c_m}$ $x_0 = b_m \left[\frac{3a_m^2 b_m + c_m (6a_m^2 - 8c_m^2)}{a_m^3 + 6a_m^2 b_m + c_m (8c_m^2 - 12a_m c_m + 6a_m^2)} \right] + x_m$ |
|  | $\beta_l = 2c_m t (b_m - x_m)^3 + \frac{2}{3} t (b_m - x_m) \left[\left(\frac{a_m}{2} - c_m \right)^3 - \left(\frac{a_m}{2} \right)^3 \right]$ $x_m = \frac{b_m (b_m + 2c_m)}{a_m + 2b_m + 2c_m}$ $x_0 = b_m \left[\frac{3a_m^2 b_m + c_m (6a_m^2 - 8c_m^2)}{a_m^3 + 6a_m^2 b_m + c_m (8c_m^2 + 12a_m c_m + 6a_m^2)} \right] + x_m$ |


Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |  |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 2 – MOMENTO FLETOR

Instabilidade Local

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

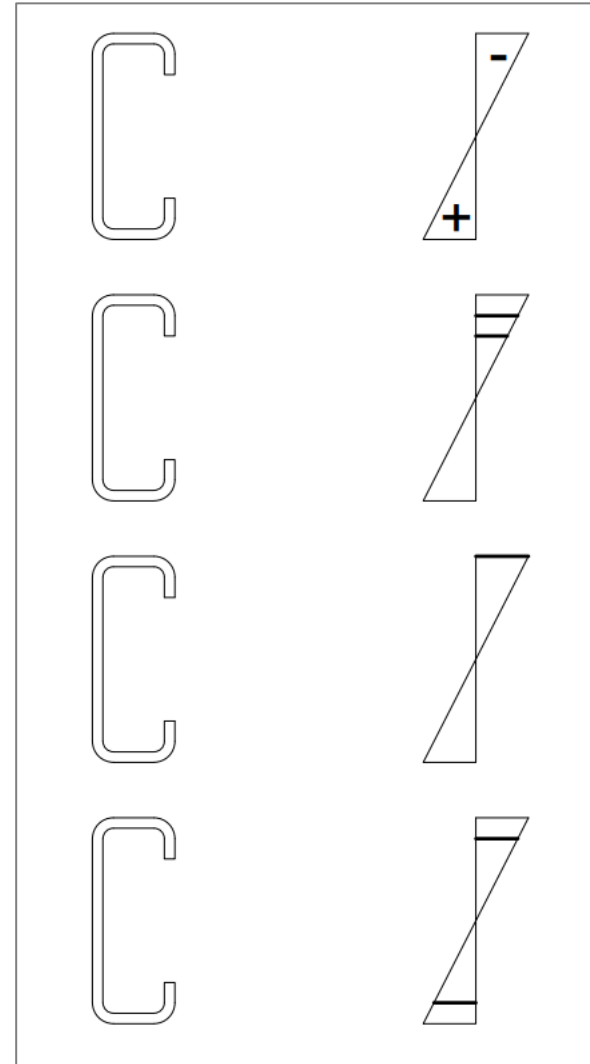
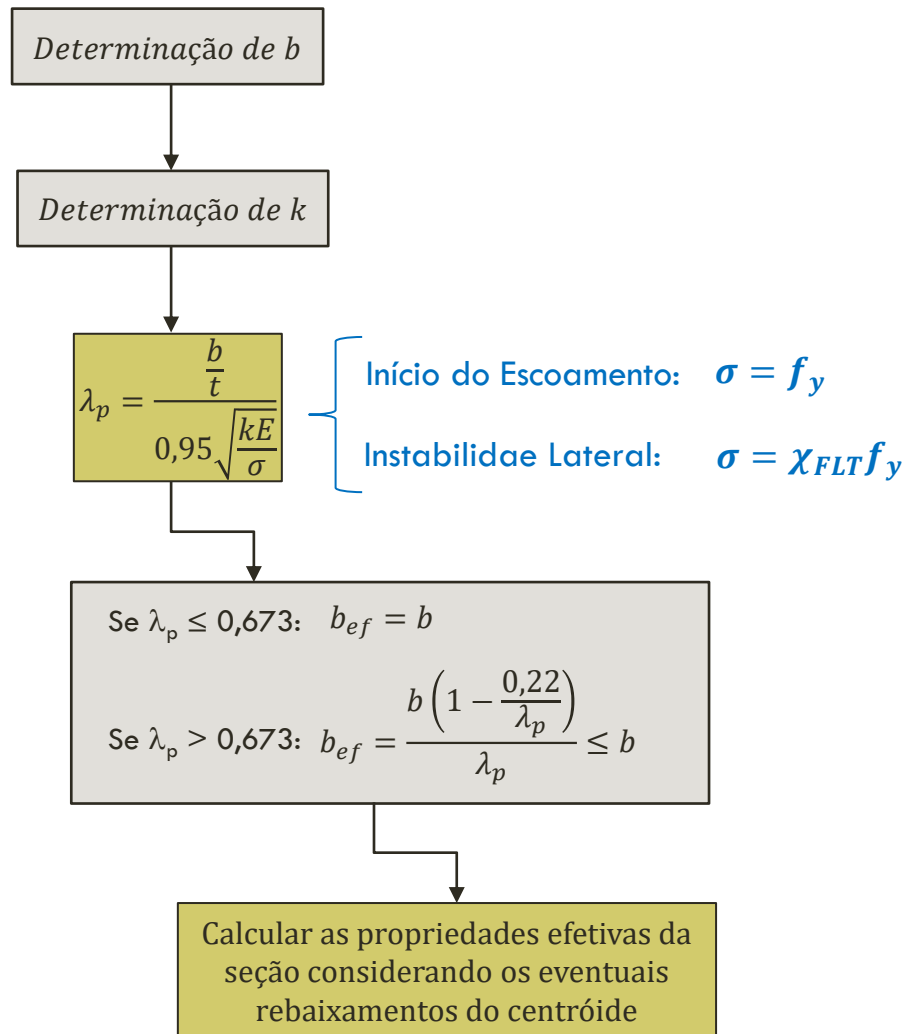
Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

MÉTODO DA LARGURA EFETIVA – RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC


Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br


Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

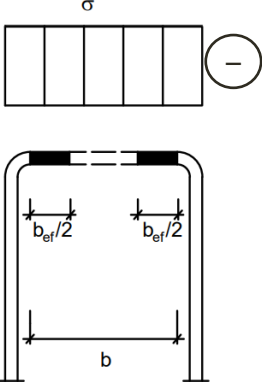
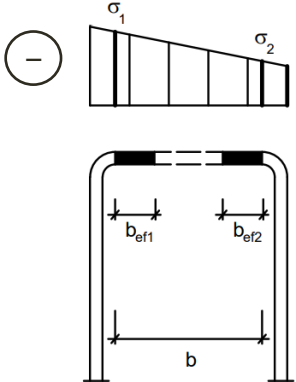
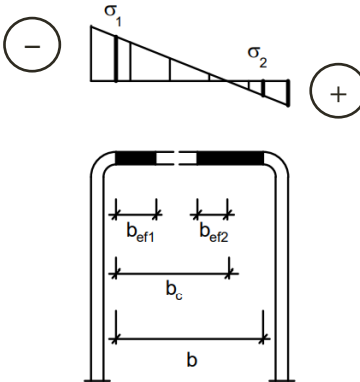
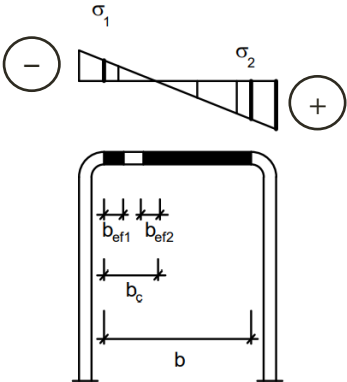



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).


| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |  |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|

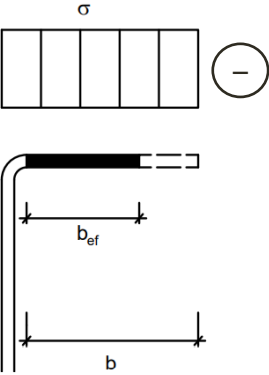
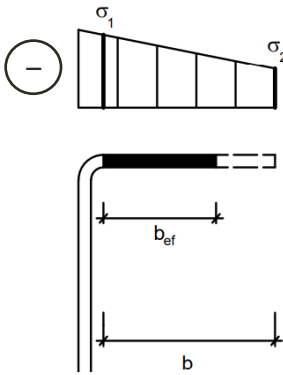
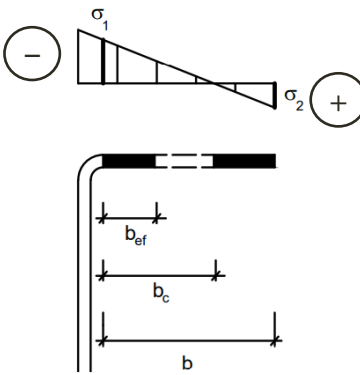
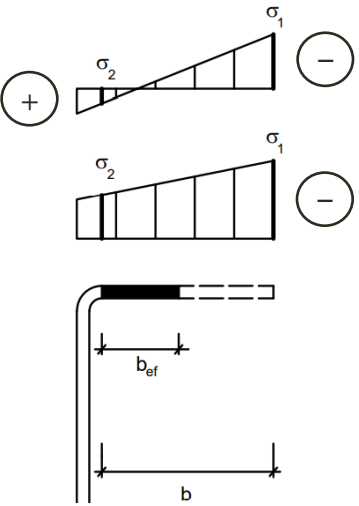
 O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

COEFICIENTES DE FLAMBAGEM LOCAL (k) PARA ELEMENTOS AA

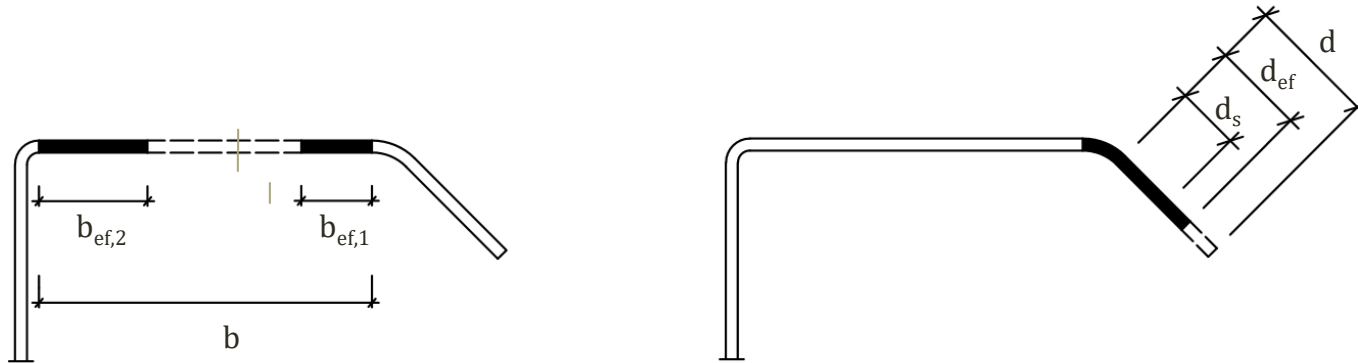
| Caso A | Caso B | Caso C | Caso D |
|--|--|---|--|
|  |  |  |  |
| $k = 4,00$ | $0 < \psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \leq 1,0$ $b_{ef1} = b_{ef} / (3 - \psi)$ $b_{ef2} = b_{ef} - b_{ef,1}$ $k = 4 + 2(1 - \psi) + 2(1 - \psi)^3$ | $-0,236 < \psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \leq 0$ $b_{ef1} = b_{ef} / (3 - \psi)$ $b_{ef2} = b_{ef} - b_{ef,1}$ $k = 4 + 2(1 - \psi) + 2(1 - \psi)^3$ | $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \leq -0,236$ $b_{ef1} = b_{ef} / (3 - \psi)$ $b_{ef2} = 0,5b_{ef}$ <i>sendo $b_{ef,1} + b_{ef2} \leq b_c$</i> $k = 4 + 2(1 - \psi) + 2(1 - \psi)^3$ |

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |  |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|

 O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

| COEFICIENTES DE FLAMBAGEM LOCAL (k) PARA ELEMENTOS AL | | | |
|---|--|---|--|
| Caso A | Caso B | Caso C | Caso D |
|  <p style="text-align: center;">$k = 0,43$</p> |  <p style="text-align: center;">$0 \leq \psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 1,0$</p> <p style="text-align: center;">$k = \frac{0,578}{\psi + 0,34}$</p> |  <p style="text-align: center;">$-1,0 \leq \psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 0$</p> <p style="text-align: center;">$k = 1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$</p> |  <p style="text-align: center;">$-1,0 \leq \psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 1,0$</p> <p style="text-align: center;">$k = 0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$</p> |

ELEMENTOS COM ENRIJECEDOR DE BORDA SIMPLES



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PASSO 1: VERIFICA-SE SE HÁ NECESSIDADE DO ENRIJECEDOR DE BORDA

$$\lambda_{p0} = \frac{b}{t} \cdot 0,623 \sqrt{\frac{E}{\sigma}}$$

Se $\lambda_{p0} \leq 0,673$

Não há necessidade do enrijecedor de borda

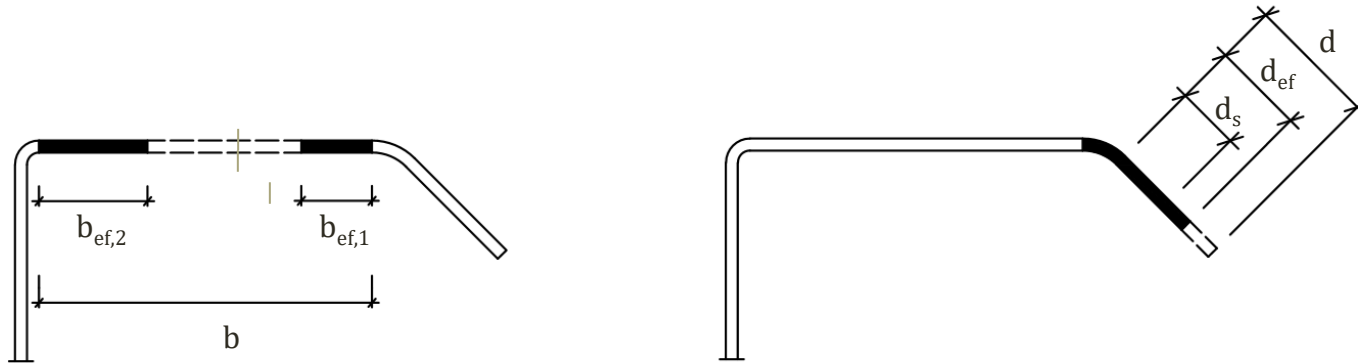
Mesa: $b_{ef} = b$
Enrijecedor: $d_s = d_{ef}$

Se $\lambda_{p0} > 0,673$

Há necessidade do enrijecedor de borda

Mesa: $b_{ef} = ?$
Enrijecedor: $d_s = ?$

ELEMENTOS COM ENRIJECEDOR DE BORDA SIMPLES



PASSO 2: DETERMINA-SE A INÉRCIA DO ENRIJECEDOR E A INÉRCIA DE REFERÊNCIA

$$I_s = \frac{(td^3 \sin^2 \theta)}{12}$$

Momento de inércia da seção bruta do enrijecedor em relação ao eixo que passa pelo seu centróide e é paralelo ao elemento a ser enrijecido.

$$I_a = 399t^4(0,487\lambda_{p0} - 0,328)^3 \leq t^4(56\lambda_{p0} + 5)$$

Momento de inércia de referência do enrijecedor de borda.

$$I_s/I_a \leq 1$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

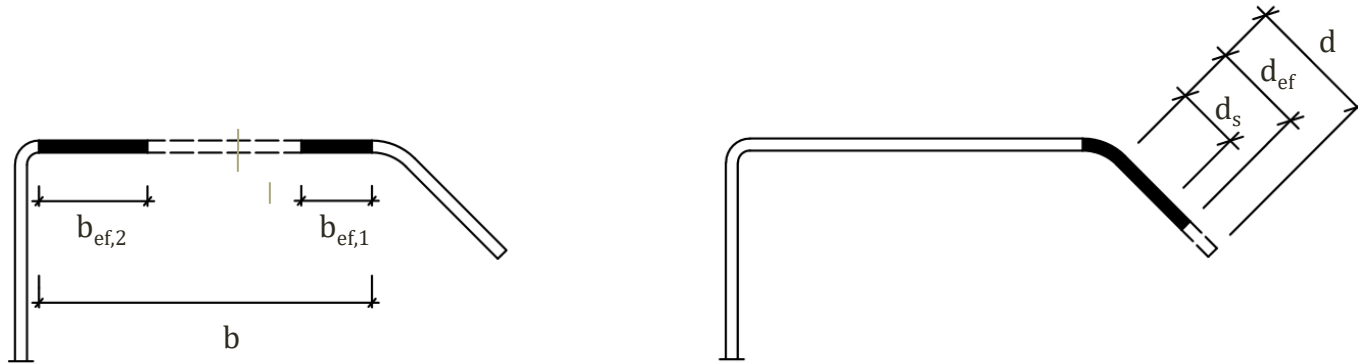
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ELEMENTOS COM ENRIJECEDOR DE BORDA SIMPLES



PASSO 3: DETERMINA-SE DO COEFICIENTE DE INSTABILIDADE

Se $D/b \leq 0,25$: $k = 3,57 \left(\frac{I_s}{I_a} \right)^n + 0,43 \leq 4,0$

Se $0,25 < D/b \leq 0,8$: $k = \left[4,82 - 5 \left(\frac{D}{b} \right) \right] \left(\frac{I_s}{I_a} \right)^n + 0,43 \leq 4,0$

Onde: $n = (0,582 - 0,122\lambda_{p0}) \geq 0,33$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).


MÉTODO DA SEÇÃO EFETIVA EFETIVA – RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS


Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |  |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|

 O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Determinação de k_L




$$M_L = k_L \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} W_c$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{W_\sigma}{M_L}}$$

Início de Escoamento da Seção Efetiva: $\sigma = f_y$
Instabilidade Lateral com Torção: $\sigma = \chi_{FLT} f_y$

| | |
|---|--|
| <p><u>Início do Escoamento da Seção Efetiva</u></p> <p>Para $\lambda_p \leq 0,673 \rightarrow W_{ef} = W$</p> <p>Para $\lambda_p > 0,673 \rightarrow W_{ef} = W \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \frac{1}{\lambda_p}$</p> | <p><u>Instabilidade Lateral com Torção</u></p> <p>Para $\lambda_p \leq 0,673 \rightarrow W_{c,ef} = W_c$</p> <p>Para $\lambda_p > 0,673 \rightarrow W_{ef} = W_c \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \frac{1}{\lambda_p}$</p> |
|---|--|

Coefficiente de flambagem local k_L para barras sob flexão simples em torno do eixo de maior inércia

| | |
|---|--|
|  | <p>Caso a: Seções U Simples e Z Simples</p> $k_L = \eta^{-1,843}$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$ |
|  | <p>Caso b: Seções U Enrijecido, Z Enrijecido e Cartola</p> $k_L = a - b(\mu - 0,2)$ $a = 81 - 730\eta + 4261\eta^2 - 12304\eta^3 + 17919\eta^4 - 12796\eta^5 + 3574\eta^6$ $b = 0 \text{ para } 0,1 \leq \mu \leq 0,2 \text{ e } 0,2 \leq \eta \leq 1,0$ $b = 0 \text{ para } 0,2 < \mu \leq 0,3 \text{ e } 0,6 < \eta \leq 1,0$ $b = 320 - 2788\eta + 13458\eta^2 - 27667\eta^3 + 19167\eta^4$ $\text{para } 0,2 < \mu \leq 0,3 \text{ e } 0,2 \leq \eta \leq 0,6$ |
|  | <p>Caso d : Seções tubulares com solda de costura contínua</p> $k_L = 14,5 + 178\eta - 602\eta^2 + 649\eta^3 - 234\eta^4$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$ |

$$\eta = \frac{b_f}{b_w} \quad \mu = \frac{D}{b_w}$$

(Fonte: tabela 9 da NBR 14762:2010)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

**Valores do coeficiente de flambagem local k_l para barras
sob flexão simples em torno do eixo de maior inércia**

| $\eta = b_f/b_w$ | Caso a | Caso b | | | Caso c |
|------------------|------------------------------------|--|-----------------|----------------|---|
| | Seção U Simples Seção Z Simples | Seção U enrijecido Seção Z enrijecido | | | Seção Tubular retangular com solda contínua |
| | | $\mu \leq 0,2$ | $\mu \leq 0,25$ | $\mu \leq 0,3$ | |
| 0,2 | 18,4 | 32,0 | 25,8 | 21,2 | 31,0 |
| 0,3 | 9,6 | 29,3 | 23,8 | 19,7 | 28,9 |
| 0,4 | 5,6 | 24,8 | 20,7 | 18,2 | 25,6 |
| 0,5 | 3,6 | 18,7 | 17,6 | 16,0 | 19,5 |
| 0,6 | 2,6 | 13,6 | 13,3 | 13,0 | 14,2 |
| 0,7 | 1,9 | 10,2 | 10,1 | 10,1 | 10,6 |
| 0,8 | 1,5 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 8,2 |
| 0,9 | 1,2 | 6,2 | 6,3 | 6,3 | 6,6 |
| 1,0 | 1,0 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,3 |

$\mu = D/b_w$
Para valores intermediários, interpolar linearmente


(Fonte: tabela 13 da NBR 14762:2010)


Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |  |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|

 O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 3 – MOMENTO FLETOR

Instabilidade por Distorção

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

A INSTABILIDADE POR DISTORÇÃO

$$M_{Rd(dist)} = \frac{\chi_{dist} W f_y}{\gamma}$$

Fator de Minoração da resistência
($\gamma = 1,10$)

$$\chi_{dist} = 1 \text{ para } \lambda_{dist} \leq 0,673$$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \frac{1}{\lambda_{dist}} \text{ para } \lambda_{dist} > 0,673$$

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

M_{dist} é o momento crítico de flambagem distorcional elástica.

$$M_{dist} = ?$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

A INSTABILIDADE POR DISTORÇÃO

| b_f/b_w | b_w/t | | | | |
|-----------|---------|------|------|------|------|
| | 250 | 200 | 125 | 100 | 50 |
| 0,4 | 0,05 | 0,06 | 0,10 | 0,12 | 0,25 |
| 0,6 | 0,05 | 0,06 | 0,10 | 0,12 | 0,25 |
| 0,8 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,12 | 0,22 |
| 1,0 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,11 | 0,22 |
| 1,2 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,11 | 0,20 |
| 1,4 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,20 |
| 1,6 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,20 |
| 1,8 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,19 |
| 2,0 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,19 |

Para valores intermediários interpolar linearmente.



| Perfis Dispensados |
|---|
| $U_{en} 100 \times 40 \times 17 \times 1,2$ |
| $U_{en} 100 \times 50 \times 17 \times 1,2$ |
| $Z_{90} 100 \times 50 \times 17 \times 1,2$ |

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |  |
|---|---|-------------------------------|------------|---|
|  | O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional . | | | |

A INSTABILIDADE POR DISTORÇÃO

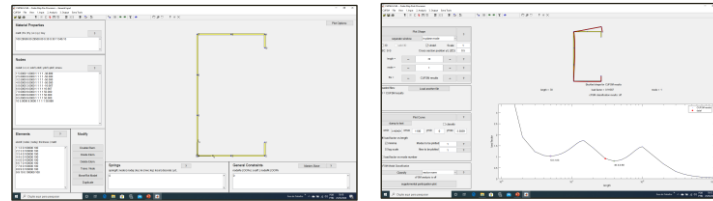
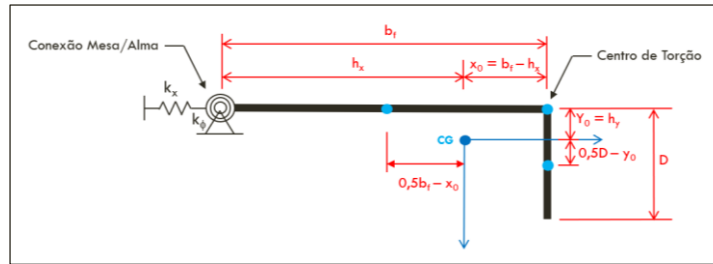
Determinação de M_{dist}

Modelo de Hancock

Análise de Estabilidade

PIERIN et al. (20013)

Programa DimPerfil



Revista de Estrutura de Aço

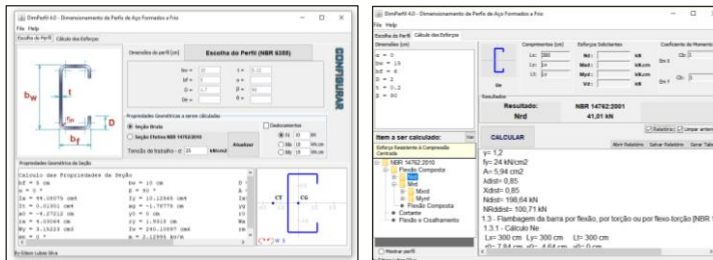
Forças Normais e Momentos Flexores Críticos de Perfis Formados a Frio

Resumo: Este trabalho apresenta os resultados de uma análise paramétrica realizada com o objetivo de determinar os valores críticos de força normal e momento flexor para perfis formados a frio submetidos a flexão simples. Os resultados são apresentados em tabelas e gráficos, permitindo a comparação com os dados disponíveis na literatura.

Palavras-chave: perfis formados a frio; análise paramétrica; forças normais; momentos flexores; estabilidade.

Abstract: This work presents the results of a parametric analysis performed with the objective of determining the critical values of normal force and bending moment for cold-formed profiles subjected to simple flexure. The results are presented in tables and graphs, allowing comparison with data available in the literature.

Keywords: cold-formed profiles; parametric analysis; normal forces; bending moments; stability.



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico - Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas - UFAL
Centro de Tecnologia - CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF - Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF - BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhavalgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 4

Verificação do Esforço Cortante

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

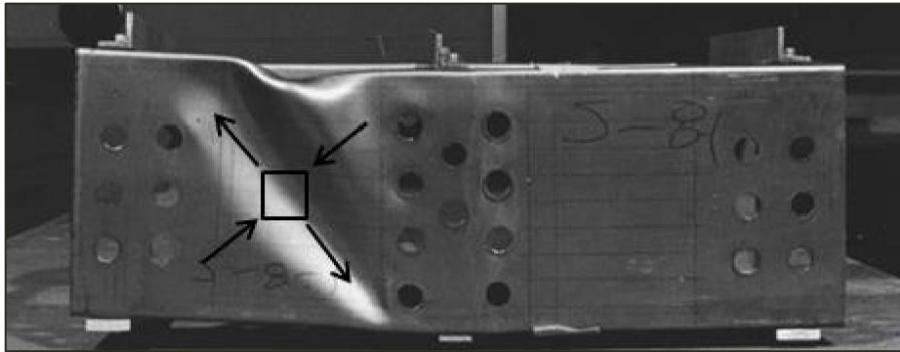
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Fonte: SILVA (2018)
(Adaptado de YU, W. W.; LABOUBE, R. A. Cold-formed steel design. 4.ed.
Hoboken: John Wiley & Sons, 2010).



Fonte: SILVA (2018)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: **05**
Assunto: **PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples**
Quantidade de Slides: **75**

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios

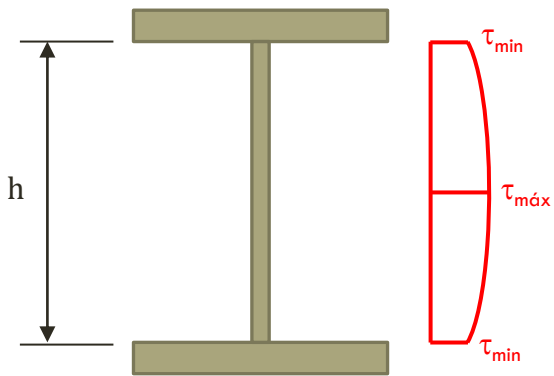


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Mecânica dos Sólidos

$$\tau = \frac{VM_s}{It}$$

V = Força cortante na seção transversal
 M_s = Momento estático
 I = Inércia em relação ao eixo de flexão
 t = espessura (ou, dependendo do caso, a largura) da seção transversal na fibra em estudo.



$$\tau = \frac{V}{ht}$$

V = Força cortante na seção transversal
 h = altura da alma
 t = espessura da alma

Distribuição de tensões de cisalhamento na alma de perfis de aço

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

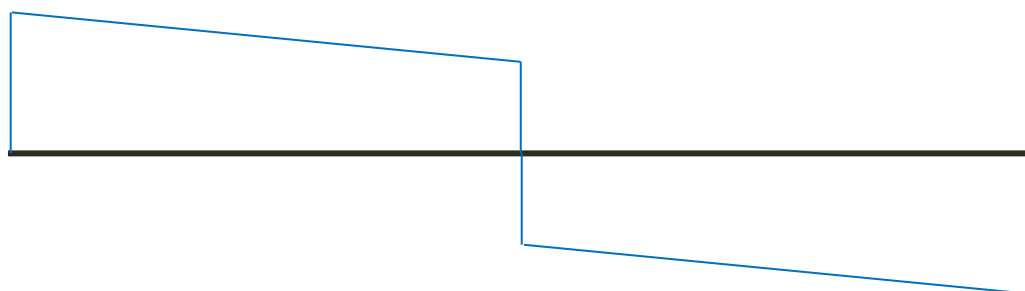
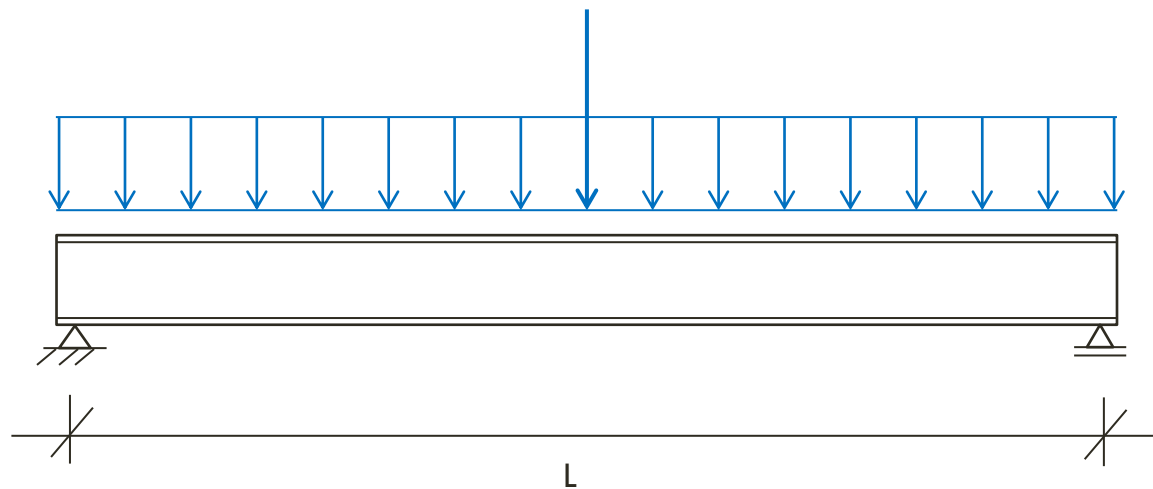
Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhado 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

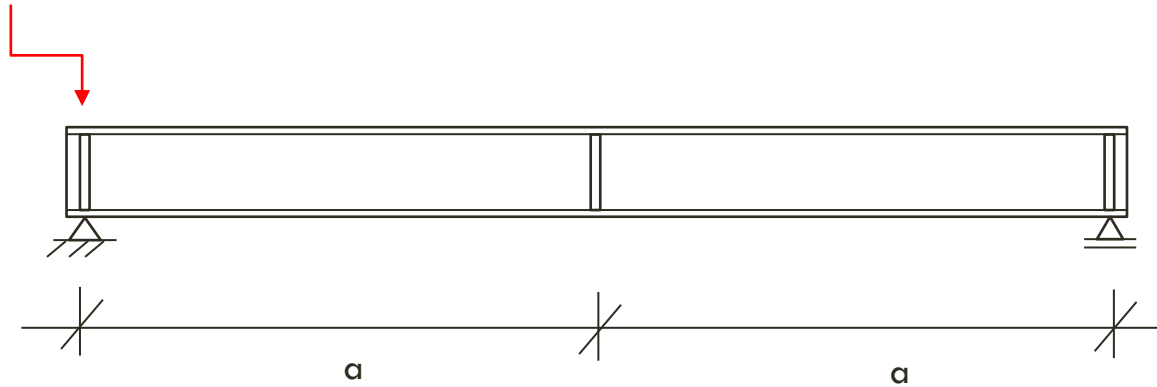
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Enrijecedor
Transversal



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

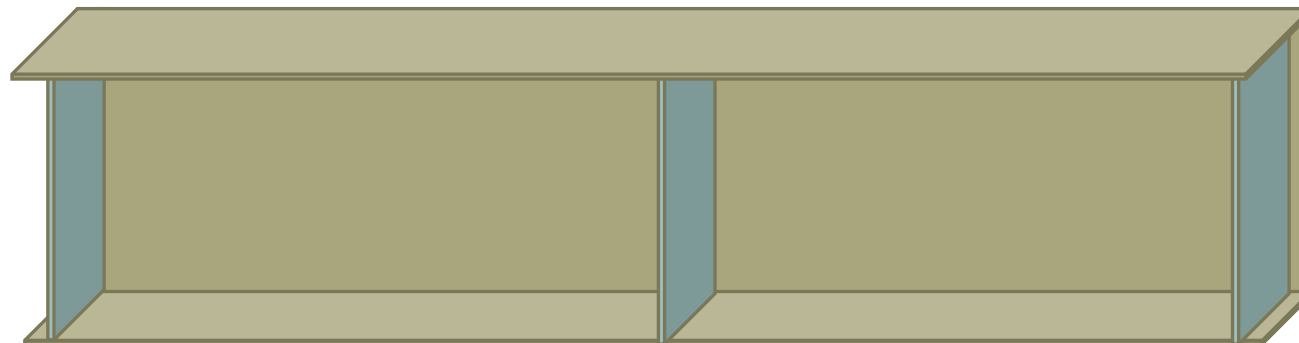
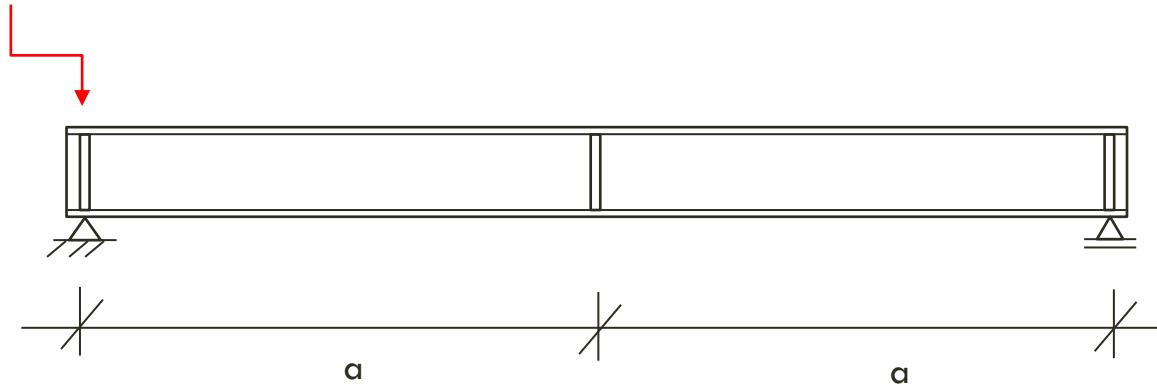
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Enrijecedor
Transversal



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

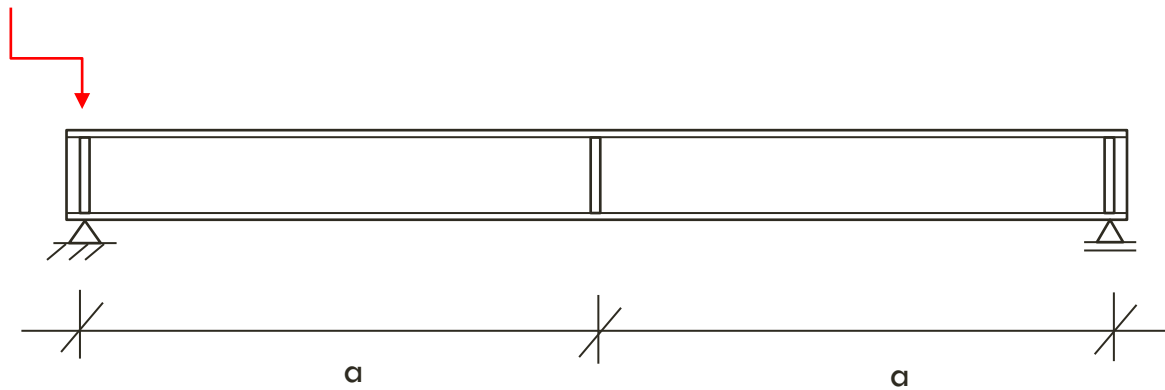
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Enrijecedor
Transversal



Fonte: VIEIRA (2010)



Fonte: VIEIRA (2010)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

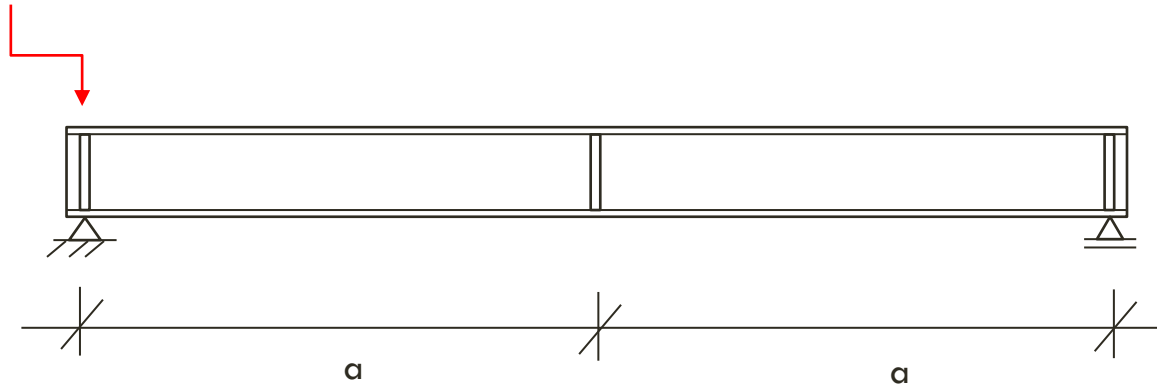
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Enrijecedor
Transversal



k_v é coeficiente de flambagem local por cisalhamento, onde:

- a) Para alma sem enrijecedores transversais ou para $a/h > 3,0$

$$k_v = 5,00$$

- b) Para almas com enrijecedores transversais (ver item 9.5)

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

Onde “a” é a distância entre enrijecedores transversais de alma

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

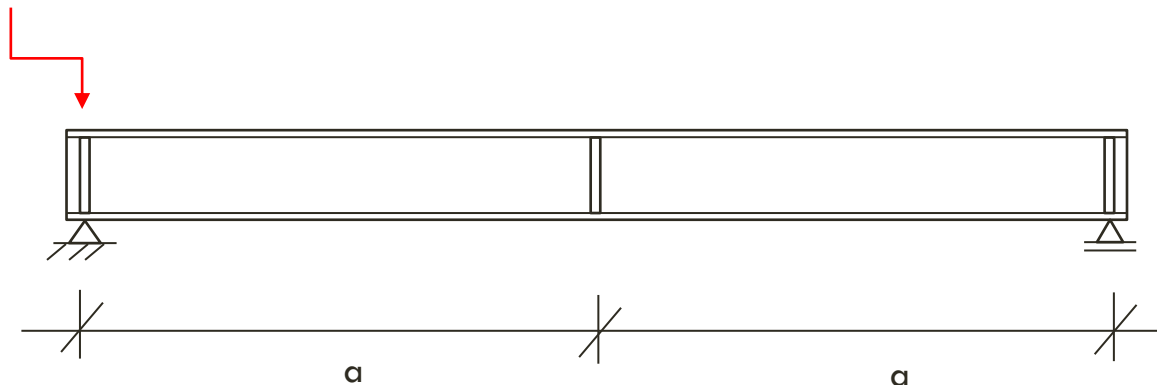
Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Enrijecedor
Transversal



Para $\frac{h}{t} \leq 1,08 \sqrt{\frac{Ek_v}{f_y}} \rightarrow V_{Rd} = \frac{0,6hf_y}{\lambda}$

Para $1,08 \sqrt{\frac{Ek_v}{f_y}} < \frac{h}{t} \leq 1,40 \sqrt{\frac{Ek_v}{f_y}} \rightarrow V_{Rd} = \frac{0,65t^2 \sqrt{k_v E f_y}}{\lambda}$

Para $\frac{h}{t} > 1,40 \sqrt{\frac{Ek_v}{f_y}} \rightarrow V_{Rd} = \frac{0,905 \frac{k_v E t^3}{h} f_y}{\lambda}$

NBR 14762 (2010)

Onde:

h = largura plana da alma do perfil

$\gamma = 1,10$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).


INTERAÇÃO MOMENTO FLETOR + FORÇA CORTANTE


Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

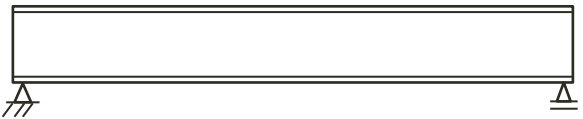
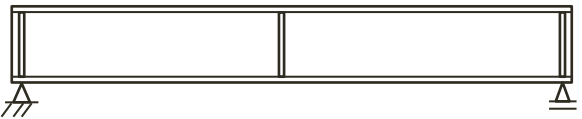
| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |  |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|

 O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

TIMOSHENKO E GERE (1961)

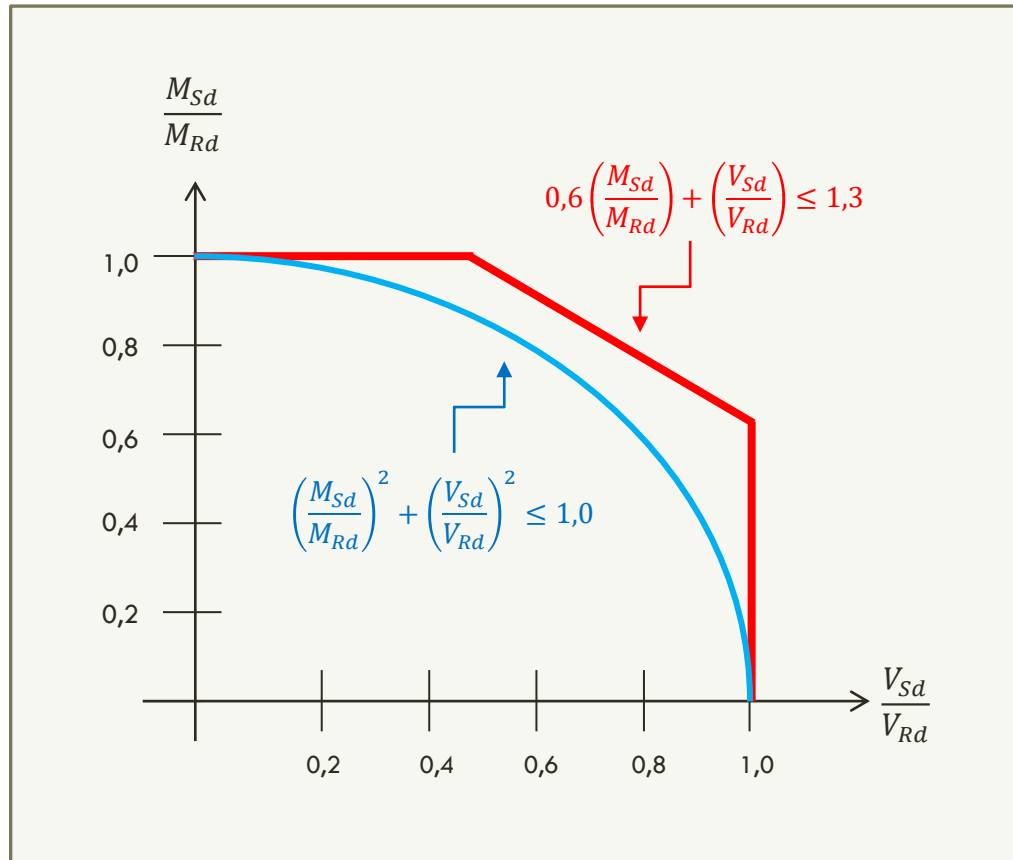
Tensões normais elevadas provocadas pelo momento fletor podem se combinar com tensões cisalhantes provocadas pelo esforço cortante.

Equações da NBR 14762 (2010)

| Barras sem Enrijecedores Transversais de Alma | Barras com Enrijecedores Transversais de Alma |
|---|--|
| $\left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1,0$  | $0,6 \left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right) + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right) \leq 1,3$  |

Momento fletor e força cortante solicitantes de cálculo na mesma seção

INTERAÇÃO MOMENTO FLETOR + FORÇA CORTANTE



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 5

Verificação dos Deslocamentos

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

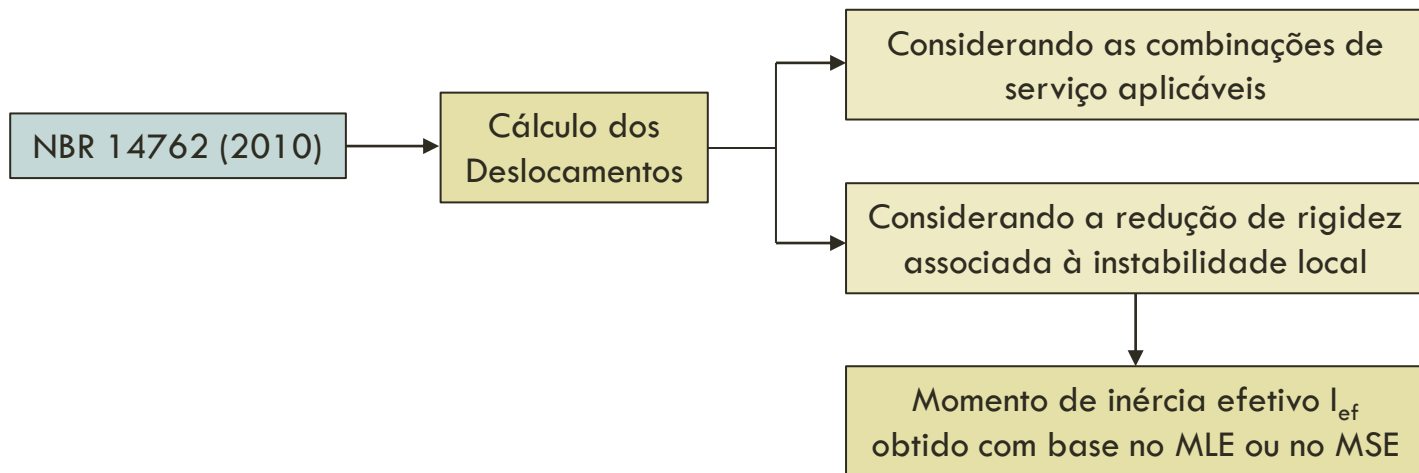
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Método da Largura Efetiva

$$\sigma = \sigma_n$$

Método da Seção Efetiva

$$\lambda_{pd} = \sqrt{\frac{M_n}{M_L}}$$


- para $\lambda_{pd} \leq 0,673$: $I_{ef} = I_g$
- para $\lambda_{pd} > 0,673$: $I_{ef} = I_g \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{pd}}\right) \frac{1}{\lambda_{pd}}$


Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |  |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|---|

 O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DESLOCAMENTOS MÁXIMOS DE ACORDO COM A NBR 14762/2010

| DESCRIÇÃO | δ^a |
|---|---|
| Travessas de fechamento | L/180 ^b L/120 ^{cd} |
| Terças de cobertura | L/180 ^e L/120 ^f |
| Vigas de cobertura | L/250 |
| Vigas de piso | L/350 |
| Vigas que suportam pilares | L/500 |
| Galpões em geral e edifícios de um pavimento | |
| – Deslocamento horizontal no topo dos pilares em relação à base | L/300 |
| – Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base | L/400 |
| Edifícios de dois ou mais pavimentos | |
| – Deslocamento horizontal no topo dos pilares em relação à base | L/400 |
| – Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos | L/500 |

Obs.:

- L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar);
- Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso eles existam);
- Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento;
- Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico;
- Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.
- Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico.

(Consultar a norma para mais informações)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 6

Exemplo de Aplicação: MSE

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

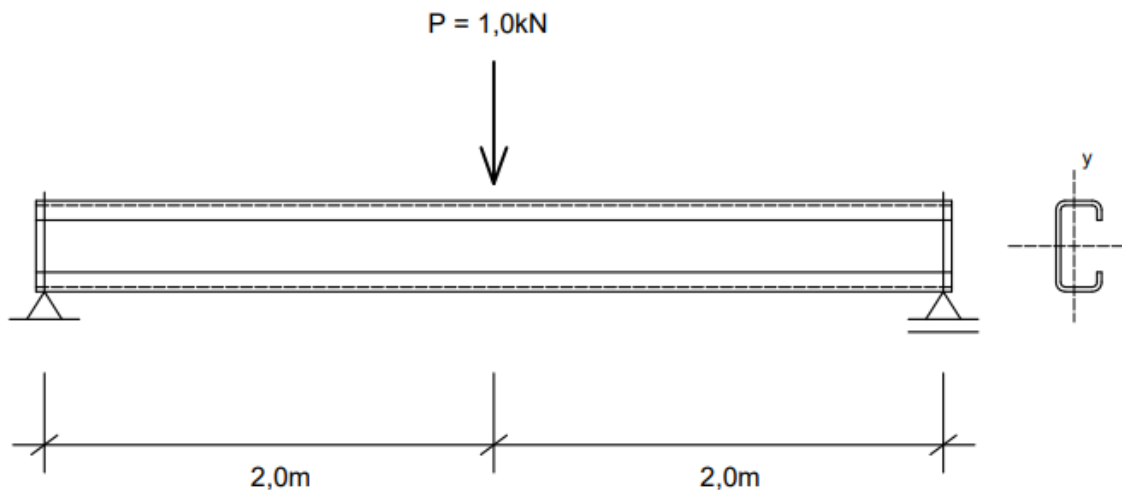


Com algumas adaptações e adotando o Método da Seção Efetiva (MSL), resolveremos o exercício apresentado por SILVA *et al.* (2014), o qual foi resolvido originalmente pelo Método da Largura Efetiva (MLE).



ENUNCIADO

Verifique uma viga de cobertura constituída por um perfil **Ue 100 x 50 x 17 x 1,2** com $f_y = 250\text{MPa}$ para a situação indicada na figura dada a seguir. Admita que P é uma ação variável decorrente do uso e da ocupação da estrutura e que a viga está travada lateralmente apenas nos apoios.



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DADOS DA QUESTÃO

Dados da Seção Transversal

$$b_w = 10,0\text{cm}$$

$$b_f = 5,0\text{cm}$$

$$D = 1,7\text{cm}$$

$$t = r_i = 0,12\text{cm}$$

$$A = 2,71\text{cm}^2$$

$$I_x = 44,14\text{cm}^4$$

$$W_x = 8,83\text{cm}^3$$

$$r_x = 4,03$$

$$I_y = 10,12\text{cm}^4$$

$$W_y = 3,15\text{cm}^3$$

$$r_y = 1,93$$

$$I_t = 0,013\text{cm}^4$$

$$C_w = 246,61\text{cm}^4$$

$$x_0 = 4,28\text{cm}$$

$$r_0 = 6,19\text{cm}$$

$$t = 0,12\text{cm}$$

Propriedades do Aço

$$f_y = 25\text{kN/cm}^2$$

$$E = 20.000\text{kN/cm}^2$$

$$f_y = 7.700\text{kN/cm}^2$$

$$\nu = 0,3$$

$$k_x L_x = k_y L_y = k_z L_z = 400\text{cm}$$

1. Esforços de Projeto

$$M_{Sd} = \frac{1,5 \times 1,0 \times 4,0}{4} = 1,5\text{kNm} = 150\text{kNcm}$$

$$V_{Sd} = \frac{1,5 \times 1,0}{2} = 0,75\text{kN}$$

2. Determinação de M_L

$$\eta = \frac{5}{10} = 0,5$$

$$\mu = \frac{1,7}{10} = 0,17$$

$$b = 0$$

$$a = 81 - 730\eta + 4261\eta^2 - 12304\eta^3 + 17919\eta^4 - 12796\eta^5 + 3574\eta^6$$

$$a = 19,16$$

$$k_L = a - b(\mu - 0,2)$$

$$k_L = 19,16$$

$$M_L = k_L \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} W_c$$

$$M_L = 439,83\text{kNcm}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DADOS DA QUESTÃO

Dados da Seção Transversal

$b_w = 10,0\text{cm}$
 $b_f = 5,0\text{cm}$
 $D = 1,7\text{cm}$
 $t = r_i = 0,12\text{cm}$
 $A = 2,71\text{cm}^2$
 $I_x = 44,14\text{cm}^4$
 $W_x = 8,83\text{cm}^3$
 $r_x = 4,03$
 $I_y = 10,12\text{cm}^4$
 $W_y = 3,15\text{cm}^3$
 $r_y = 1,93$
 $I_t = 0,013\text{cm}^4$
 $C_w = 246,61\text{cm}^4$
 $x_0 = 4,28\text{cm}$
 $r_0 = 6,19\text{cm}$
 $t = 0,12\text{cm}$

Propriedades do Aço

$f_y = 25\text{kN/cm}^2$
 $E = 20.000\text{kN/cm}^2$
 $f_v = 7.700\text{kN/cm}^2$
 $v = 0,3$

$k_x L_x = k_y L_y = k_z L_z = 400\text{cm}$

3. Escoamento Inicial da Seção Transversal

$$M_L = 439,83\text{kNcm}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{W f_y}{M_L}} = \sqrt{\frac{8,83 \times 25}{439,83}} = 0,708 > 0,673$$

$$W_{ef} = W \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \frac{1}{\lambda_p} = 8,83 \times \left(1 - \frac{0,22}{0,708}\right) \times \frac{1}{0,708}$$

$$W_{ef} = 8,59\text{cm}^3$$

$$M_{Rd(y)} = \frac{W_{ef} f_y}{\gamma} = \frac{8,59 \times 25}{1,1}$$

$$M_{Rd(y)} = 195,30\text{kNcm}$$

4. Instabilidade Lateral com Torção

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(k_y L_y)^2} = 12,47\text{kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(k_z L_z)^2} + G I_t \right] = 10,54\text{kN}$$

$$C_b = 1,31$$

$$M_e = C_b r_0 \sqrt{N_{ey} N_{ez}} = 92,99\text{kNcm}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DADOS DA QUESTÃO

Dados da Seção Transversal

$b_w = 10,0\text{cm}$
 $b_f = 5,0\text{cm}$
 $D = 1,7\text{cm}$
 $t = r_i = 0,12\text{cm}$
 $A = 2,71\text{cm}^2$
 $I_x = 44,14\text{cm}^4$
 $W_x = 8,83\text{cm}^3$
 $r_x = 4,03$
 $I_y = 10,12\text{cm}^4$
 $W_y = 3,15\text{cm}^3$
 $r_y = 1,93$
 $I_t = 0,013\text{cm}^4$
 $C_w = 246,61\text{cm}^4$
 $x_o = 4,28\text{cm}$
 $r_o = 6,19\text{cm}$
 $t = 0,12\text{cm}$

Propriedades do Aço

$f_y = 25\text{kN/cm}^2$
 $E = 20.000\text{kN/cm}^2$
 $f_v = 7.700\text{kN/cm}^2$
 $\nu = 0,3$

$k_x L_x = k_y L_y = k_z L_z = 400\text{cm}$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c f_y}{M_e}} = \sqrt{\frac{8,83 \times 25}{92,99}} = 1,541 > 1,336$$

$$\chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2} = \frac{1}{1,541^2} = 0,421$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{flt} W f_y}{M_L}} = \sqrt{\frac{0,421 \times 8,83 \times 25}{439,83}} = 0,460 < 0,673$$

$$W_{ef} = W$$

$$W_{ef} = 8,83\text{cm}^3$$

$$M_{Rd(FLT)} = \frac{\chi_{flt} W_{ef} f_y}{\gamma} = \frac{0,460 \times 8,59 \times 25}{1,1}$$

$$M_{Rd(FLT)} = 84,53\text{kNcm}$$

Obs.:

Quando adotamos $C_b = 1,0$ encontramos $M_{Rd(FLT)} = 64,53\text{kNcm}$, valor que pode ser comparado com aquele obtido por SILVA et al. (2014) por meio do MLE.

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DADOS DA QUESTÃO

Dados da Seção Transversal

$b_w = 10,0\text{cm}$
 $b_f = 5,0\text{cm}$
 $D = 1,7\text{cm}$
 $t = r_i = 0,12\text{cm}$
 $A = 2,71\text{cm}^2$
 $I_x = 44,14\text{cm}^4$
 $W_x = 8,83\text{cm}^3$
 $r_x = 4,03$
 $I_y = 10,12\text{cm}^4$
 $W_y = 3,15\text{cm}^3$
 $r_y = 1,93$
 $I_t = 0,013\text{cm}^4$
 $C_w = 246,61\text{cm}^4$
 $x_o = 4,28\text{cm}$
 $r_o = 6,19\text{cm}$
 $t = 0,12\text{cm}$

Propriedades do Aço

$f_y = 25\text{kN/cm}^2$
 $E = 20.000\text{kN/cm}^2$
 $f_v = 7.700\text{kN/cm}^2$
 $\nu = 0,3$

$k_x L_x = k_y L_y = k_z L_z = 400\text{cm}$

5. Instabilidade por Distorção da Seção Transversal

$$M_{dist} = 461\text{kNcm} \quad (\text{Valor obtido em PIERIN et al. (2013)})$$

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{W f_y}{M_{dist}}} = \sqrt{\frac{8,83 \times 25}{461}} = 0,692 > 0,673$$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \frac{1}{\lambda_{dist}} = \left(1 - \frac{0,22}{0,692}\right) \times \frac{1}{0,692} = 0,982$$

$$M_{Rd(dist)} = \frac{\chi_{dist} W f_y}{\gamma} = \frac{0,982 \times 8,83 \times 25}{1,1}$$

$$M_{Rd(dist)} = 197,80\text{kNcm}$$

6. Verificação do Momento Fletor

$$M_{Rd(y)} = 195,30\text{kNcm}$$

$$M_{Rd(flt)} = 84,53\text{kNcm}$$

$$M_{Rd(dist)} = 197,80\text{kNcm}$$

$$M_{Rd} = 84,53\text{kNcm}$$

$$M_{Rd} = 84,53\text{kNcm} < M_{Sd} = 150\text{kNcm}$$

Nessas condições não atende os critérios de segurança da NBR 14762(2010), pode-se adotar travamentos laterais e refazer a verificação (sugestão: adotar um travamento lateral no meio do vão).

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DADOS DA QUESTÃO

Dados da Seção Transversal

$b_w = 10,0\text{cm}$
 $b_f = 5,0\text{cm}$
 $D = 1,7\text{cm}$
 $t = r_i = 0,12\text{cm}$
 $A = 2,71\text{cm}^2$
 $I_x = 44,14\text{cm}^4$
 $W_x = 8,83\text{cm}^3$
 $r_x = 4,03$
 $I_y = 10,12\text{cm}^4$
 $W_y = 3,15\text{cm}^3$
 $r_y = 1,93$
 $I_t = 0,013\text{cm}^4$
 $C_w = 246,61\text{cm}^4$
 $x_0 = 4,28\text{cm}$
 $r_0 = 6,19\text{cm}$
 $t = 0,12\text{cm}$

Propriedades do Aço

$f_y = 25\text{kN/cm}^2$
 $E = 20.000\text{kN/cm}^2$
 $f_v = 7.700\text{kN/cm}^2$
 $\nu = 0,3$

$k_x L_x = k_y L_y = k_z L_z = 400\text{cm}$

7. Verificação do Esforço Cortante

$$k_v = 5,00 \quad \left\{ \begin{array}{l} 1,08 \sqrt{\frac{E k_v}{f_y}} = 68,31 \\ 1,40 \sqrt{\frac{E k_v}{f_y}} = 88,54 \end{array} \right.$$

$$V_{Rd} = \frac{0,65 t^2 \sqrt{k_v E f_y}}{\lambda} = \frac{0,65 \times 0,12^2 \times \sqrt{5 \times 20.000 \times 25}}{1,1}$$

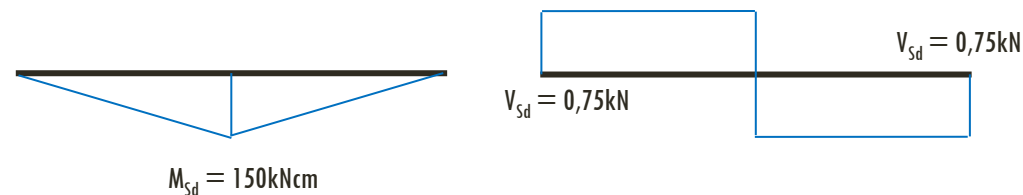
$$V_{Rd} = 13,45\text{kN}$$

$$V_{Rd} = 13,45\text{kN} > V_{Sd} = 0,75\text{kN} \quad \text{Ok!}$$

8. Verificação da Interação Momento Fletor + Esforço Cortante

Admitindo que a viga está contida lateralmente, de modo que $M_{Rd} = 195,30\text{kNcm}$, e que não possui enrijecedores transversais de alma:

$$\left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right)^2 = \left(\frac{150,00}{195,30}\right)^2 + \left(\frac{0,75}{13,45}\right)^2 = 0,59 \leq 1,0 \quad \text{Ok}$$



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DADOS DA QUESTÃO

Dados da Seção Transversal

$b_w = 10,0\text{cm}$
 $b_f = 5,0\text{cm}$
 $D = 1,7\text{cm}$
 $t = r_i = 0,12\text{cm}$
 $A = 2,71\text{cm}^2$
 $I_x = 44,14\text{cm}^4$
 $W_x = 8,83\text{cm}^3$
 $r_x = 4,03$
 $I_y = 10,12\text{cm}^4$
 $W_y = 3,15\text{cm}^3$
 $r_y = 1,93$
 $I_t = 0,013\text{cm}^4$
 $C_w = 246,61\text{cm}^4$
 $x_o = 4,28\text{cm}$
 $r_o = 6,19\text{cm}$
 $t = 0,12\text{cm}$

Propriedades do Aço

$f_y = 25\text{kN/cm}^2$
 $E = 20.000\text{kN/cm}^2$
 $f_v = 7.700\text{kN/cm}^2$
 $v = 0,3$
 $k_x L_x = k_y L_y = k_z L_z = 400\text{cm}$

9. Verificação do Deslocamento Máximo

Admitindo combinação frequente de serviço:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$$

$$\psi_1 = 0,60 \quad (\text{Edificação com alto fator de ocupação})$$

$$P_n = \psi_1 P = 0,60 \times 1,00 = 0,60\text{kN}$$

$$M_n = \frac{P_n L}{4} = \frac{0,6 \times 400}{4} = 60\text{kNcm}$$

$$\lambda_{pd} = \sqrt{\frac{M_n}{M_L}} = \sqrt{\frac{60}{439,83}} = 0,369 < 0,673$$

$$I_{ef} = I_g$$

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} = \frac{0,60 \times 400^3}{48 \times 20.000 \times 44,14} = 0,91\text{cm}$$

$$\Delta = \frac{L}{250} = \frac{400}{250} = 1,60\text{cm} > \delta \quad \text{Ok!}$$

$$\frac{\delta}{L} = \frac{0,91}{400} = \frac{1}{440} < \frac{1}{250}$$

É comum representar a verificação do deslocamento dessa forma

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 7

Exemplo de Aplicação do MLE

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgal 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

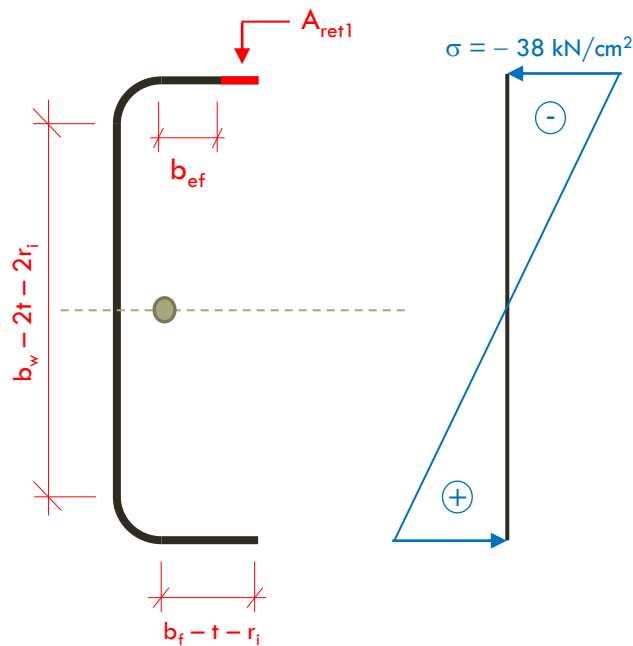
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Resolução

1. AVALIAÇÃO DA MESA COMPRIMIDA

1.1 - Determinação da largura efetiva

$$b = 5,0 - 0,12 - 0,12 = 4,76\text{cm}$$

$$b/t = 4,76/0,12 = 39,667$$

$$k = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{b/t}{0,95\sqrt{\frac{kE}{\sigma}}} = \frac{39,667}{0,95\sqrt{\frac{0,43 \times 20.000}{38}}} = 2,776$$

$$\lambda_p > 0,673$$

$$b_{ef} = b \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \frac{1}{\lambda_p} = 4,76 \times \left(1 - \frac{0,22}{2,776}\right) \times \frac{1}{2,776}$$

$$b_{ef} = 1,579\text{cm}$$

1.2 - Determinação da área a "retirar" da mesa comprimida

$$L_{ret1} = b - b_{ef1} \quad A_{ret1} = L_{ret1} \times t \quad A_{ef1} = A - A_{ret1}$$

$$L_{ret1} = 4,76 - 1,579 \quad A_{ret1} = 3,181 \times 0,12 \quad A_{ef1} = 2,65 - 0,382$$

$$L_{ret1} = 3,181\text{cm} \quad A_{ret1} = 0,382\text{cm}^2 \quad A_{ef1} = 2,268\text{cm}^2$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico - Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas - UFAL
Centro de Tecnologia - CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05

Assunto: PFF - Barras Submetidas à Flexão Simples

Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF - BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

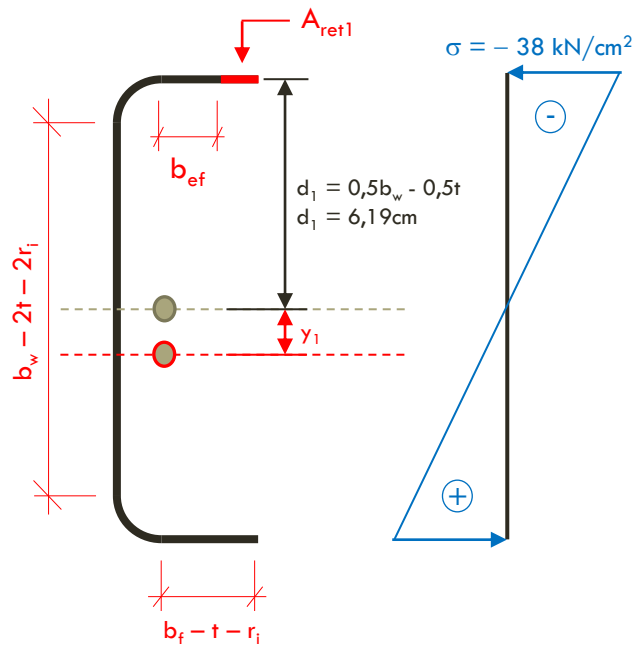
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Resolução

1. AVALIAÇÃO DA MESA COMPRIMIDA

1.3 – Parcela de I_x a “retirar” da seção transversal

$$L_{ret1} = 3,181\text{cm}$$

$$A_{ret1} = 0,382\text{cm}^2$$

$$I_{xret1} = \frac{L_{ret1} \times t^3}{12} + A_{ret1} \times (d_1)^2$$

$$I_{xret1} = \frac{3,181 \times 0,12^3}{12} + 0,382 \times 6,19^2$$

$$I_{xret1} = 14,626\text{cm}^2$$

1.4 – Rebaixamento do C.G. devido a A_{ret1}

$$A_{ret1} = 0,382\text{cm}^2$$

$$A_{ef1} = 2,268\text{cm}^2$$

$$\frac{A_{ret1}}{A_{ef1}} = \frac{y_1}{d_1}$$

$$y_1 = d_1 \times \frac{A_{ret1}}{A_{ef1}}$$

$$y_1 = 6,19 \times \frac{0,382}{2,268}$$

$$y_1 = 1,04\text{cm}$$

$$Y_{G1} = Y_{G0} + y_1$$

$$Y_{G1} = 6,25 + 1,04$$

$$Y_{G1} = 7,29\text{cm}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

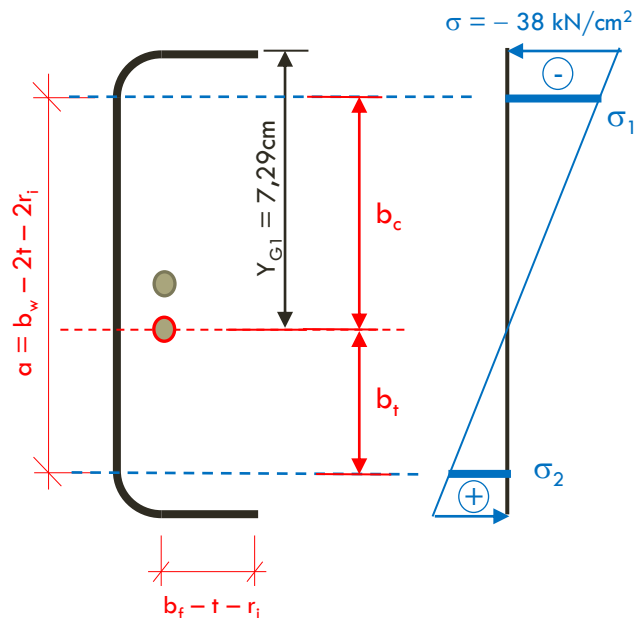
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Resolução

2. AVALIAÇÃO DA ALMA

2.1 – Determinação da largura efetiva

$$b = 12,5 - 2 \times 0,12 - 2 \times 0,12 = 12,02\text{cm}$$

$$b/t = 12,02/0,12 = 100,167$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma} = \frac{b_c}{Y_{G1}}$$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma} = \frac{b_t}{Y_{G1}}$$

$$b_c = Y_{G1} - t - r_i = 7,29 - 0,12 - 0,12 = 7,05\text{cm}$$

$$b_t = a - b_c = 12,02 - 7,05 = 4,97\text{cm}$$

$$\sigma_1 = \frac{b_c}{Y_{G1}} \sigma = \frac{7,05}{7,29} \times 38 \therefore \sigma_1 = -36,749\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{b_t}{Y_{G1}} \sigma = \frac{4,97}{7,29} \times 38 \therefore \sigma_2 = +25,903\text{kN/cm}^2$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{25,903}{36,749} = -0,705 < -0,236 \quad (\text{Tabela 5, Caso d})$$

$$k = 4 + 2(1 - \psi) + 2(1 - \psi)^3$$

$$k = 4 + 2(1 + 0,705) + 2(1 + 0,705)^3$$

$$k = 17,320$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

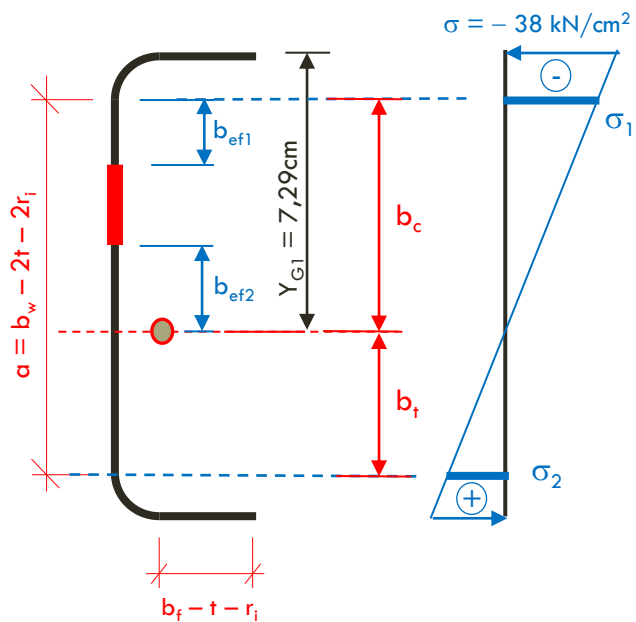
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Resolução

2. AVALIAÇÃO DA ALMA

2.1 – Determinação da largura efetiva

$$k = 17,203$$

$$\lambda_p = \frac{b/t}{0,95\sqrt{\frac{kE}{\sigma}}} = \frac{100,167}{0,95\sqrt{\frac{17,203 \times 20.000}{38}}} = 1,086 > 0,673$$

$$b_{ef} = b \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \frac{1}{\lambda_p} = 11,9 \times \left(1 - \frac{0,22}{1,086}\right) \times \frac{1}{1,086}$$

$$b_{ef} = 8,826\text{cm}$$

$$b_{ef1} = \frac{b_{ef}}{(3 - \psi)} = \frac{8,826}{[3 - (-0,705)]} = 2,382\text{cm}$$

$$b_{ef2} = 0,5b_{ef} = 0,5 \times 8,826 = 4,413\text{cm}$$

$$b_{ef1} + b_{ef2} = 2,80 + 5,23 = 6,795\text{cm}$$

$$b_c = 7,05\text{cm}$$

$$b_{ef1} + b_{ef2} < b_c$$

A alma não é totalmente efetiva!

É necessário fazer um novo rebaixamento do C.G.!

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

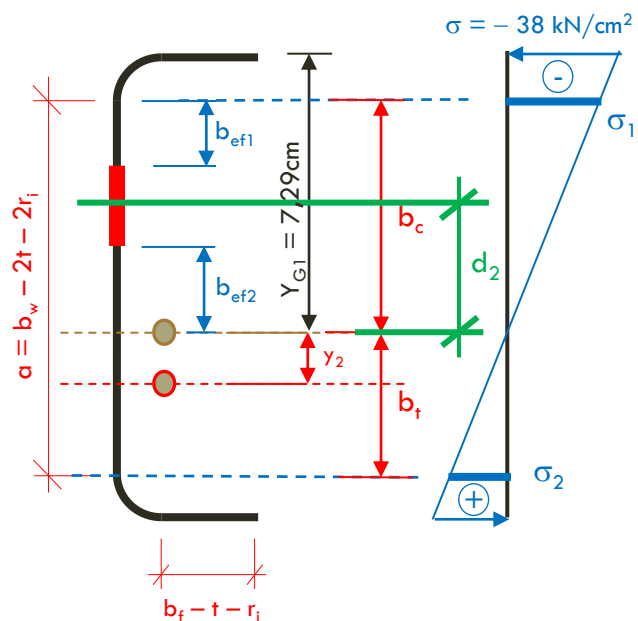
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Resolução

2. AVALIAÇÃO DA ALMA

2.2 – Rebaixamento do C.G. devido a Alma

$$L_{ret2} = b_c - (b_{ef1} + b_{ef})$$

$$L_{ret2} = 7,05 - 6,795$$

$$L_{ret2} = 0,255\text{cm}$$

$$A_{ret2} = L_{ret2} \times t = 0,255 \times 0,12 = 0,031\text{cm}^2$$

$$A_{ef2} = A_{ef1} - A_{ret2} = 2,268 - 0,031 = 2,237\text{cm}^2$$

$$\frac{A_{ret2}}{A_{ef2}} = \frac{y_2}{d_2}$$

$$d_2 = b_{ef2} + 0,5L_{ret2}$$

$$d_2 = 4,413 + 0,5 \times 0,255 = 4,541\text{cm}$$

$$y_2 = d_2 \times \frac{A_{ret2}}{A_{ef2}} = 4,541 \times \frac{0,031}{2,237} = 0,063\text{cm}$$

$$Y_{G2} = Y_{G1} + y_2$$

$$Y_{G2} = 7,290 + 0,063$$

$$Y_{G2} = 7,353\text{cm}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

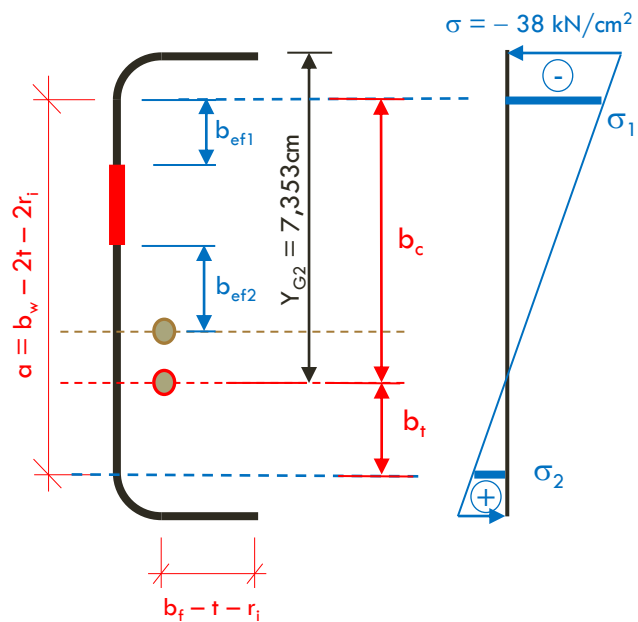
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Resolução

2. AVALIAÇÃO DA ALMA

2.2 – Rebaixamento do C.G. devido a Alma

$$L_{ret2} = b_c - (b_{ef1} + b_{ef})$$

$$L_{ret2} = 7,05 - 6,795$$

$$L_{ret2} = 0,255\text{cm}$$

$$A_{ret2} = L_{ret2} \times t = 0,255 \times 0,12 = 0,031\text{cm}^2$$

$$A_{ef2} = A_{ef1} - A_{ret2} = 2,268 - 0,031 = 2,237\text{cm}^2$$

$$\frac{A_{ret2}}{A_{ef2}} = \frac{y_2}{d_2}$$

$$d_2 = b_{ef2} + 0,5L_{ret2}$$

$$d_2 = 4,413 + 0,5 \times 0,255 = 4,541\text{cm}$$

$$y_2 = d_2 \times \frac{A_{ret2}}{A_{ef2}} = 4,541 \times \frac{0,031}{2,237} = 0,063\text{cm}$$

$$Y_{G2} = Y_{G1} + y_2$$

$$Y_{G2} = 7,290 + 0,063$$

$$Y_{G2} = 7,353\text{cm}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

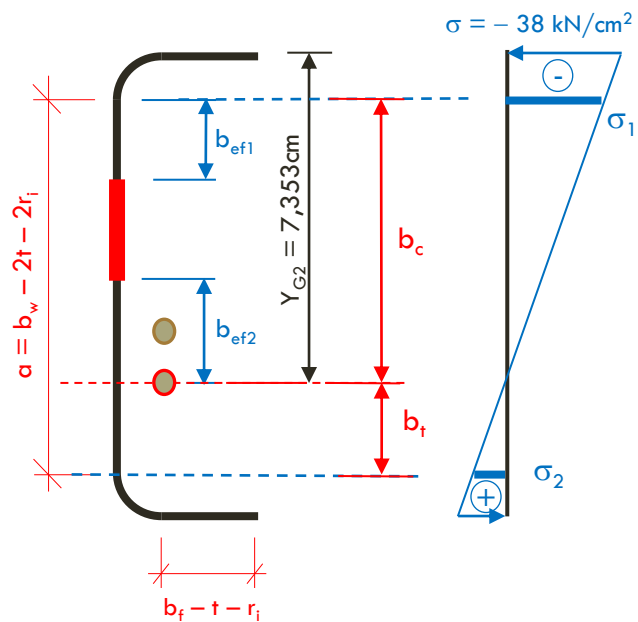
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Resolução

2. AVALIAÇÃO DA ALMA

2.2 – Rebaixamento do C.G. devido a Alma

$$L_{ret2} = b_c - (b_{ef1} + b_{ef})$$

$$L_{ret2} = 7,05 - 6,795$$

$$L_{ret2} = 0,255\text{cm}$$

$$A_{ret2} = L_{ret2} \times t = 0,255 \times 0,12 = 0,031\text{cm}^2$$

$$A_{ef2} = A_{ef1} - A_{ret2} = 2,268 - 0,031 = 2,237\text{cm}^2$$

$$\frac{A_{ret2}}{A_{ef2}} = \frac{y_2}{d_2}$$

$$d_2 = b_{ef2} + 0,5L_{ret2}$$

$$d_2 = 4,413 + 0,5 \times 0,255 = 4,541\text{cm}$$

$$y_2 = d_2 \times \frac{A_{ret2}}{A_{ef2}} = 4,541 \times \frac{0,031}{2,237} = 0,063\text{cm}$$

$$Y_{G2} = Y_{G1} + y_2$$

$$Y_{G2} = 7,290 + 0,063$$

$$Y_{G2} = 7,353\text{cm}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

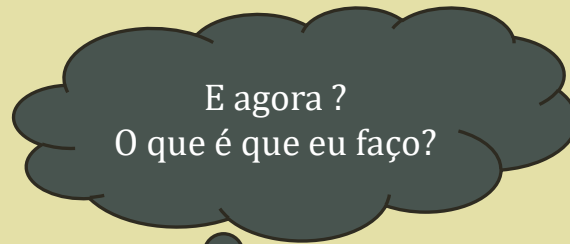
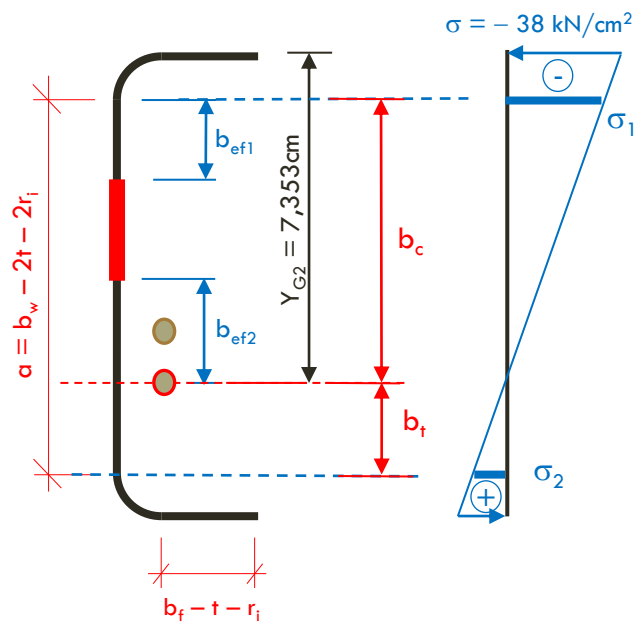
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Mesa
 - $b, b/t, \lambda_p, b_{ef}, L_{ret}, \gamma_1$
 - Determina-se Y_{G1}

Cálculo Iterativo

Alma
 - $b, b/t, \sigma_1, \sigma_2, \psi, k, \lambda_p, b_{ef}, L_{ret}, \gamma_2$
 - Determina-se Y_{G2}
 - Verifica-se tudo novamente com Y_{G2}
 - Repete-se o cálculo até a convergência

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Planilha PFF - Perfil U Simples - Determinação de Wcef - Final - Imagem Slide

Luciano Barbosa Santos

| DADOS DE ENTRADA (DADOS GERAIS DO PROBLEMA) | | | | MÉTODO DA LARGURA EFETIVA ALGORITMO ITERATIVO | | | | | | | | | | | | RESULTADOS OBTIDOS | | | |
|---|---|--------|--|---|-----|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|---------------|---------------------------|-----------------|---|-----------------------|
| DADOS DO PERFIL | | | | MESA | | | | | | | | | | | | PROPRIEDADES SEÇÃO BRUTA | | | |
| DADOS DO PERFIL | | | | ALMA (DADOS OBTIDOS APÓS PROCESSO ITERATIVO) | | | | | | | | | | | | MÉTODO DA LARGURA EFETIVA | | | |
| PROPRIEDADES DO AÇO | | | | MEMÓRIA DE CÁLCULO DO PROCESSO ITERATIVO PARA DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO FINAL DO C.G. | | | | | | | | | | | | Algoritmo Iterativo | | | |
| TENSÃO ATUANTE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO BRUTA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b_w | = | 125 mm | | b (cm) | b/t | k | α (kN/cm ²) | λ_p | b_{ef} (cm) | L_{w1} (cm) | A_{w1} (cm ²) | A_{w2} (cm ²) | d_1 (cm) | y_1 (cm) | Y_{G0} (cm) | Y_{G1} (cm) | W_x | = | 10,21 cm ³ |
| b_f | = | 50 mm | | a (cm) | b/t | k | α_1 (kN/cm ²) | α_2 (kN/cm ²) | λ_p | b_{f1} (cm) | L_{w2} (cm) | A_{w2} (cm ²) | A_{w2} (cm ²) | d_2 (cm) | y_2 (cm) | Y_{G2} (cm) | Y_G | = | 7,39 cm |
| t | = | 1,2 mm | | E | = | 20000 kN/cm ² | | | | | | | | | | | W_{Gef} | = | 6,18 cm ³ |
| | | | | v | = | 0,3 | | | | | | | | | | | W_{Gef} / W_x | = | 0,61 |
| | | | | σ | = | 38,00 kN/cm ² | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | b_w | = | 12,500 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | b_f | = | 5,000 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | t | = | 0,120 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | r_1 | = | 0,120 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | r_m | = | 0,180 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | a | = | 12,020 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | b | = | 4,760 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | a_w | = | 12,380 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | b_w | = | 4,940 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | u_1 | = | 0,283 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Y_{G0} | = | 6,25 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | A | = | 2,653 cm ² | | | | | | | | | | | | | |

Planilha ainda em fase de testes

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|





O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |
|---|------------------|-------------------------------|---|
|  | | |  |

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

| MEMÓRIA DE CÁLCULO DO PROCESSO ITERATIVO PARA DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO FINAL DO C.G. | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | i = 1 | i = 2 | i = 3 | i = 4 | i = 5 | i = 6 | i = 7 | i = 8 | i = 9 | i = 10 | i = 11 | i = 12 |
| Y_{Gi} (cm) = | 7,290 | 7,353 | 7,377 | 7,386 | 7,390 | 7,391 | 7,392 | 7,392 | 7,392 | 7,392 | 7,392 | 7,392 |
| b_c (cm) = | 7,050 | 7,113 | 7,137 | 7,146 | 7,150 | 7,151 | 7,152 | 7,152 | 7,152 | 7,152 | 7,152 | 7,152 |
| b_t (cm) = | 4,970 | 4,907 | 4,883 | 4,874 | 4,870 | 4,869 | 4,868 | 4,868 | 4,868 | 4,868 | 4,868 | 4,868 |
| σ_1 (kN/cm ²) = | -36,749 | -36,760 | -36,764 | -36,765 | -36,766 | -36,766 | -36,766 | -36,766 | -36,766 | -36,766 | -36,766 | -36,766 |
| σ_2 (kN/cm ²) = | 25,903 | 25,363 | 25,157 | 25,076 | 25,045 | 25,033 | 25,028 | 25,026 | 25,025 | 25,025 | 25,025 | 25,025 |
| Ψ = | -0,705 | -0,690 | -0,684 | -0,682 | -0,681 | -0,681 | -0,681 | -0,681 | -0,681 | -0,681 | -0,681 | -0,681 |
| k = | 17,320 | 17,033 | 16,925 | 16,882 | 16,866 | 16,860 | 16,857 | 16,856 | 16,856 | 16,856 | 16,855 | 16,855 |
| λ_p = | 1,086 | 1,095 | 1,099 | 1,100 | 1,101 | 1,101 | 1,101 | 1,101 | 1,101 | 1,101 | 1,101 | 1,101 |
| b_{ef} (cm) = | 8,826 | 8,770 | 8,749 | 8,740 | 8,737 | 8,736 | 8,735 | 8,735 | 8,735 | 8,735 | 8,735 | 8,735 |
| b_{ef1} (cm) = | 2,382 | 2,377 | 2,375 | 2,374 | 2,373 | 2,373 | 2,373 | 2,373 | 2,373 | 2,373 | 2,373 | 2,373 |
| b_{ef2} (cm) = | 4,413 | 4,385 | 4,374 | 4,370 | 4,369 | 4,368 | 4,368 | 4,368 | 4,368 | 4,368 | 4,368 | 4,368 |
| $b_{ef1} + b_{ef2}$ (cm) = | 6,795 | 6,762 | 6,749 | 6,744 | 6,742 | 6,741 | 6,741 | 6,741 | 6,741 | 6,741 | 6,741 | 6,741 |
| L_{ret2} (cm) = | 0,255 | 0,351 | 0,388 | 0,402 | 0,408 | 0,410 | 0,411 | 0,411 | 0,411 | 0,411 | 0,411 | 0,411 |
| A_{ret2} (cm ²) = | 0,031 | 0,042 | 0,047 | 0,048 | 0,049 | 0,049 | 0,049 | 0,049 | 0,049 | 0,049 | 0,049 | 0,049 |
| A_{ef2} (cm ²) = | 2,240 | 2,229 | 2,224 | 2,223 | 2,222 | 2,222 | 2,222 | 2,222 | 2,222 | 2,222 | 2,222 | 2,222 |
| d_2 (cm) = | 4,541 | 4,560 | 4,568 | 4,571 | 4,572 | 4,573 | 4,573 | 4,573 | 4,573 | 4,573 | 4,573 | 4,573 |
| y_2 (cm) = | 0,062 | 0,086 | 0,096 | 0,099 | 0,101 | 0,101 | 0,101 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,102 |
| Y_{G2} (cm) = | 7,353 | 7,377 | 7,386 | 7,390 | 7,391 | 7,392 | 7,392 | 7,392 | 7,392 | 7,392 | 7,392 | 7,392 |
| $Y_{G(Final)} - Y_{G(Inicial)}$ (cm) = | | 0,024 | 0,009 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | i = 1 | i = 2 | i = 3 | i = 4 | i = 5 | i = 6 | i = 7 | i = 8 | i = 9 | i = 10 | i = 11 | i = 12 |

Ponto de Partida

Diferença $< 10^{-2}$

$$Y_{G2} = 7,392 \text{ cm}$$

$$L_{ret2} = 0,411 \text{ cm}$$

$$b_{ef1} = 2,373 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} = 4,368 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4,573 \text{ cm}$$

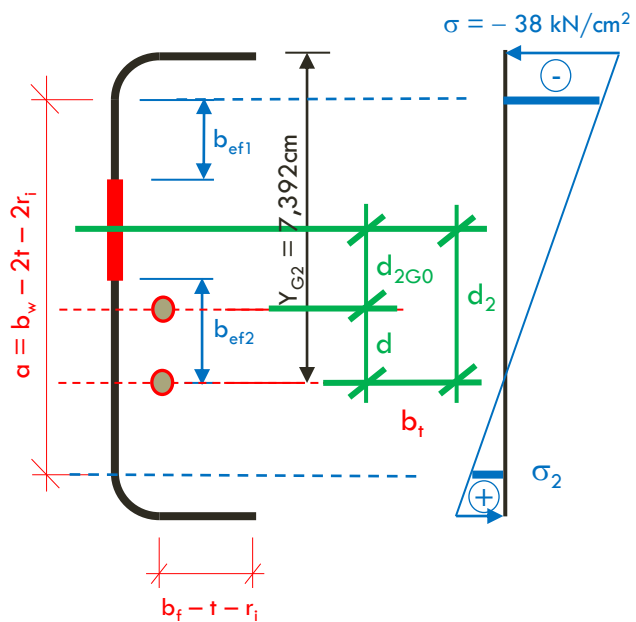
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Resolução

2. AVALIAÇÃO DA ALMA

2.3 – Parcela de I_x a “retirar” da seção transversal

$$Y_{G0} = 6,250\text{cm}$$

$$Y_{G2} = 7,392\text{cm (final)}$$

$$L_{ret2} = 0,411\text{cm}$$

$$A_{ret2} = 0,049\text{cm}^2$$

$$b_{ef1} = 2,373\text{cm}$$

$$b_{ef2} = 4,368\text{cm}$$

$$d_2 = 4,573\text{cm}$$

Rebaixamento total do C.G.

$$d = Y_{G2} - Y_{G0} = 7,392 - 6,250 = 1,142\text{cm}$$

$$d_{2G0} = d_2 - d = 4,573 - 1,142 = 3,431\text{cm}$$

$$I_{xret2} = t \times L_{ret2}^3 / 12 + A_{ret2} \times d_{2G0}^2$$

$$I_{xret2} = 0,12 \times 0,411^3 / 12 + 0,049 \times 3,431^2$$

$$I_{xret2} = 0,578\text{cm}^4$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

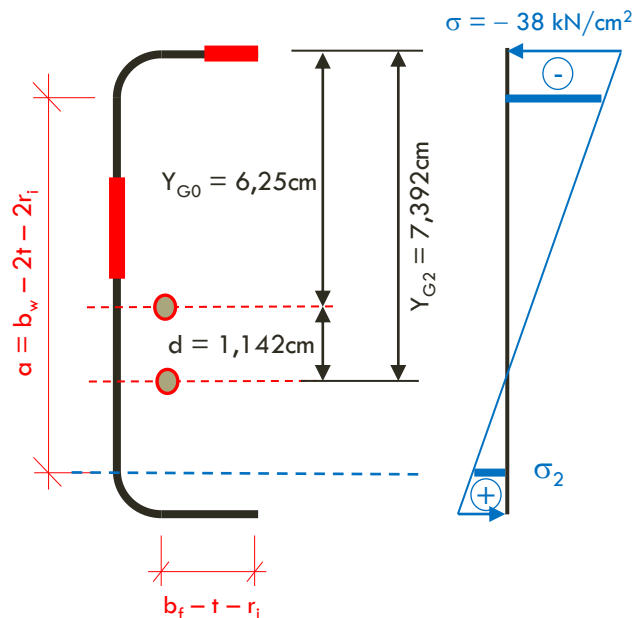
Determinar o módulo elástico W_{ef} para o estado limite último de início de escoamento de um perfil U 125 x 50 x 1,20.

$$A = 2,65\text{cm}^2$$

$$I_x = 63,82\text{cm}^4$$

$$W_x = 10,21\text{cm}^3$$

$$f_y = 38\text{kN/cm}^2$$



Resolução

3. DETERMINAÇÃO DE I_{Gxef} e W_{Gxef}

$$A_{ret} = A_{ret1} + A_{ret2} = 0,382 + 0,049 = 0,431\text{cm}^2$$

$$I_{xret} = I_{xret1} + I_{xret2} = 14,626 + 0,582 = 15,208\text{cm}^4$$

$$A_{ef} = A - A_{ret} = 2,65 - 0,431 = 2,219\text{cm}^2$$

$$I_{xef} = I_x - I_{xret} = 63,82 - 15,208 = 48,612\text{cm}^4$$

Aplicando o teorema dos eixos paralelos:

$$I_{xef} = I_{Gxef} + A_{ef} \times d^2$$

$$I_{Gxef} = I_{xef} - A_{ef} \times d^2$$

$$I_{Gxef} = 48,612 - 2,219 \times 1,142^2$$

$$I_{Gxef} = 45,718\text{cm}^4$$

$$W_{Gxef} = I_{Gxef} / y_c \quad (\text{onde: } y_c = Y_{gfinal})$$

$$W_{Gxef} = 45,718 / 7,392$$

$$W_{Gxef} = 6,18\text{cm}^3$$

$$\frac{W_{xef}}{W_x} = \frac{6,18}{10,21} = 0,61$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). NBR 14762 – **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, RJ.

CARVALHO, P. R. M.; GRIGOLETTI, G.; BARBOSA, G. D. (2020). **Curso básico de perfis de aço formados a frio**. 3ed. Porto Alegre, RS.

GIGLIO, F. H. S. (2016). **Terças de aço formadas a frio com continuidade nos apoios por meio de luvas**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP. São Carlos, SP.

JAVARONI, C. E. (2015). **Estruturas de aço: dimensionamento de perfis formados a frio**. Elsevier editora Ltda. São Paulo, SP.

JAVARONI, C. E. (1999). **Perfis de aço formados a frio submetidos à flexão: análise teórico-experimental**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP. São Carlos, SP.

LUBAS ENGENHARIA LTDA. **Software DimPerfil 4.0: dimensionamento de perfis de aço formados a frio**. Disponível em <https://www.cbca-acobrasil.org.br/>. Último acesso em 20 de junho de 2020.

PIERIN, I.; SILVA, V. P.; ROVERE, H. L. (2013). **Forças normais e momentos fletores críticos de perfis formados a frio**. Revista da estrutura de aço. Volume 2; No. 1. Centro Brasileiro da Construção em Aço.

SASSO, F.C.; RAMIRES, F. B., PRAVIA, Z.M. (2019). **PFF-NBR14762 (aplicativo)**. Universidade de Passo Fundo. Disponível em: play.google.com/store/apps/details?id=produtos.felipe.pffdesign. Último acesso em 29 de junho de 2020.

SCHAFFER, B. W.; ÀDANY, S. (2006). **“Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods”**. Eighteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, Orlando, FL. October 2006.

SOFTWARE CUFSM v. 5.04

Disponível em <https://www.ce.jhu.edu/cufsm/> (Último acesso em 20 de junho de 2020).

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC



Prof. Luciano Barbosa dos Santos

Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples

Quantidade de Slides: 75

| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios |  |
|---|---|-------------------------------|------------|---|
|  | O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional . | | | |

SILVA, J. M. M. (2018). **Terças de aço em perfis formados a frio com alma enrijecida: ênfase na força cortante e na interação momento fletor - força cortante.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. M. (1961). **Theory of elastic stability.** Dover Publications.

VIEIRA, G. S. (2010). **Análise experimental de vigas de seção I compostas de perfis formados a frio com emendas soldadas submetidos à flexão simples.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO.

IMAGENS/ILUSTRAÇÕES



Imagem de [Clker-Free-Vector-Images](#) por [Pixabay](#)



Imagem de [Daniel Mena](#) por [Pixabay](#)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: **05**
Assunto: **PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples**
Quantidade de Slides: **75**

| | | | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|
| Momento Fletor | Esforço Cortante | Verificação dos Deslocamentos | Exercícios | |
|----------------|------------------|-------------------------------|------------|--|

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

FIM DA AULA

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 05
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Simples
Quantidade de Slides: 75

Momento
Fletor

Esforço
Cortante

Verificação dos
Deslocamentos

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).