

PFF — ESTRUTURAS DE AÇO EM PERFIS FORMADOS A FRIO

BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL

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: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).



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)

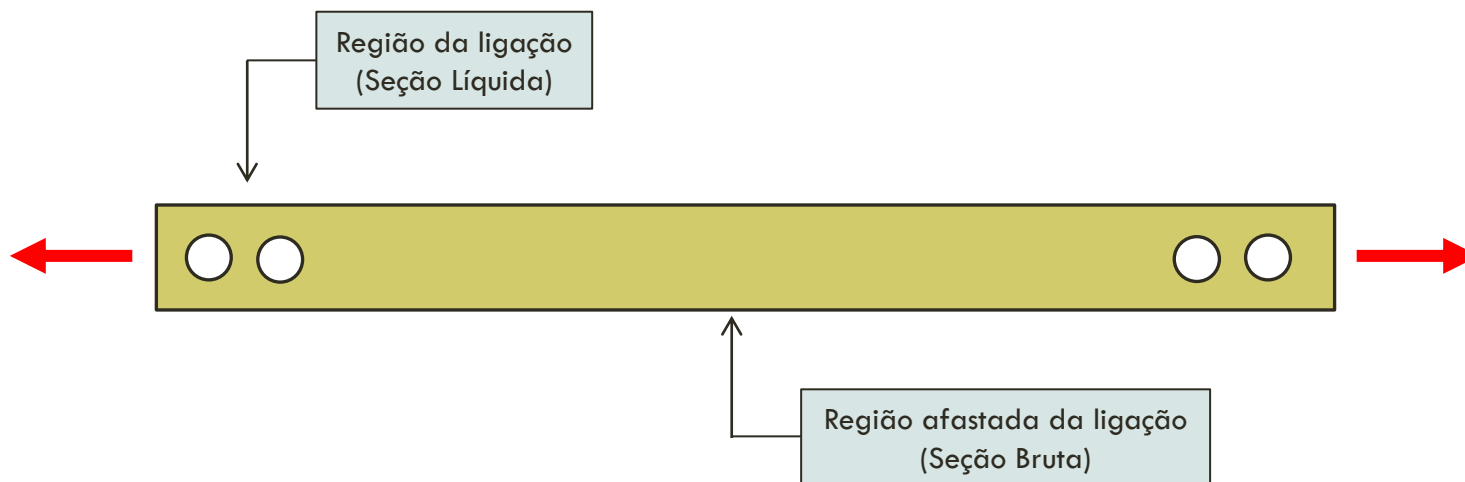
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

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

Número do Arquivo: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).



Escoamento da Seção Bruta



Ruptura da Seção Líquida na Região da Ligação

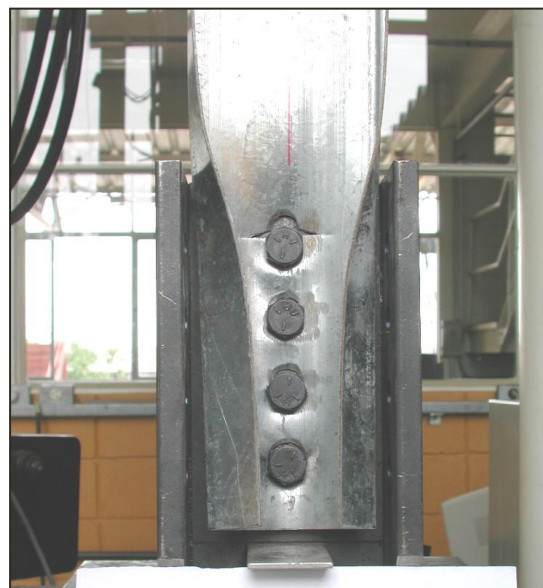




Fonte: MAIOLA (2004)



Fonte: MAIOLA (2004)



Fonte: MAIOLA (2004)

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

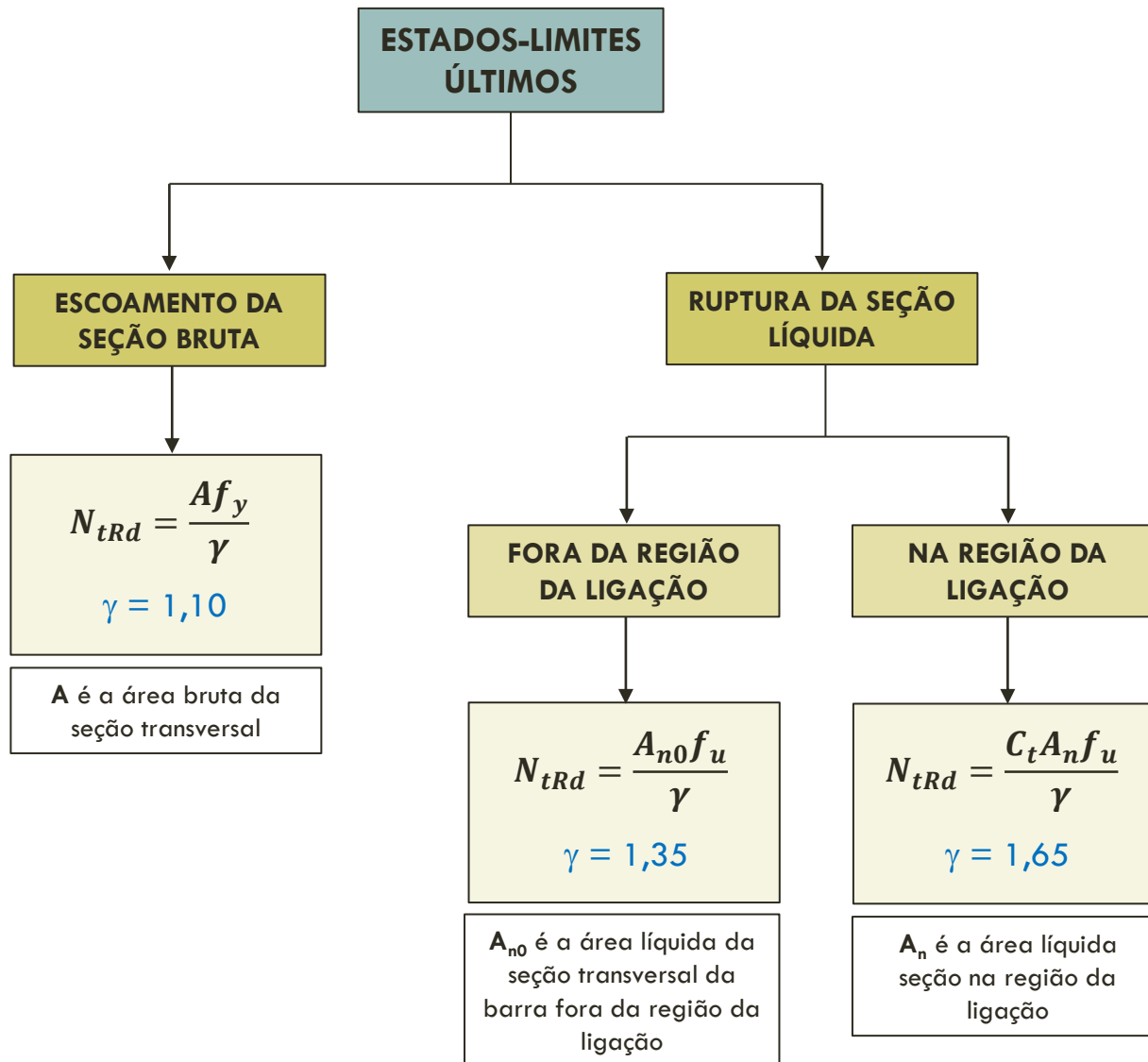
Número do Arquivo: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19

[N_{iRd}](#) [A_n](#) [C_t](#) [λ_{máx}](#) [Exercícios](#) 



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).

DETERMINAÇÃO DO ESFORÇO RESISTENTE



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

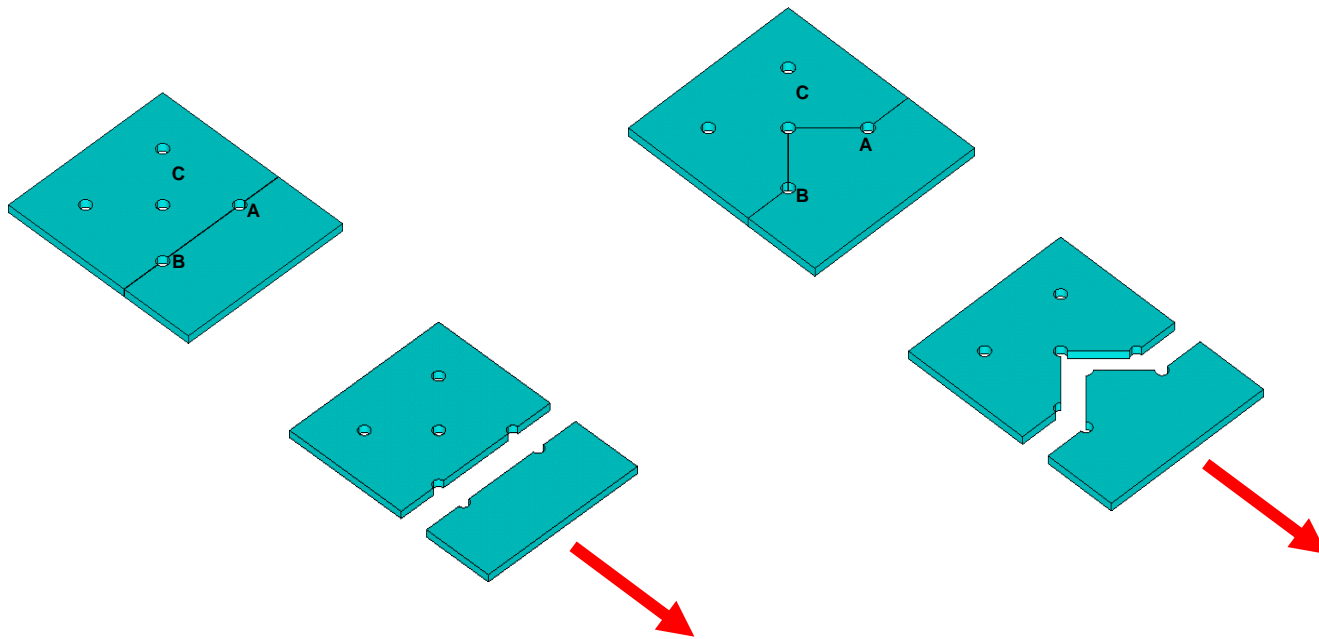
Número do Arquivo: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19

[N_{tRd}](#) [A_n](#) [C_t](#) [λ_{máx}](#) [Exercícios](#)



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](#).

DETERMINAÇÃO DA ÁREA LÍQUIDA



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: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).

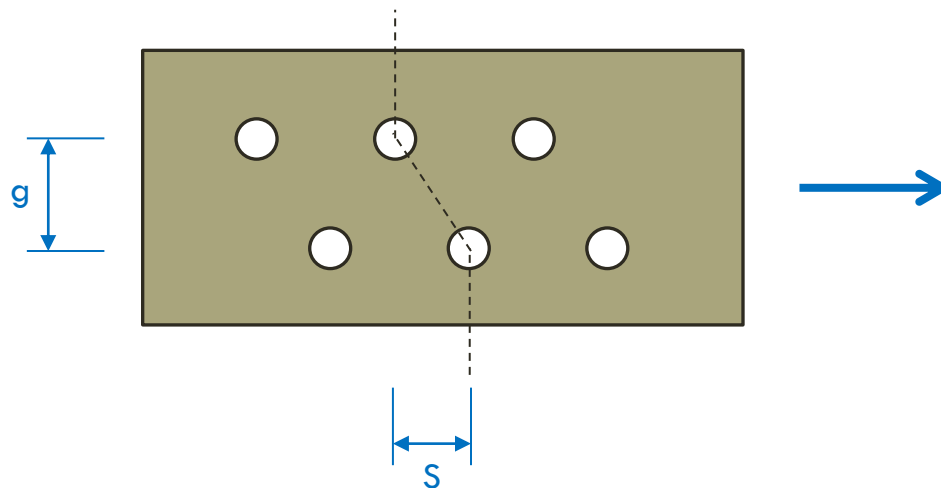
DETERMINAÇÃO DA ÁREA LÍQUIDA

$$A_n = 0,9 \left(A - n_f d_f t + \sum \frac{ts^2}{4g} \right)$$

Quantidade de furos contidos na linha de ruptura analisada

Diâmetro do furo na direção perpendicular à solicitação

Termo que leva em consideração a influência de trechos inclinados na linha de ruptura



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

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

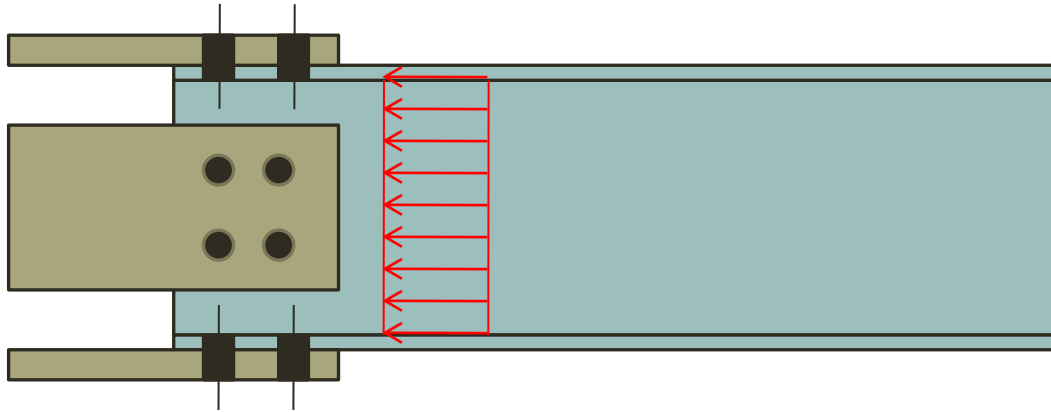
Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19

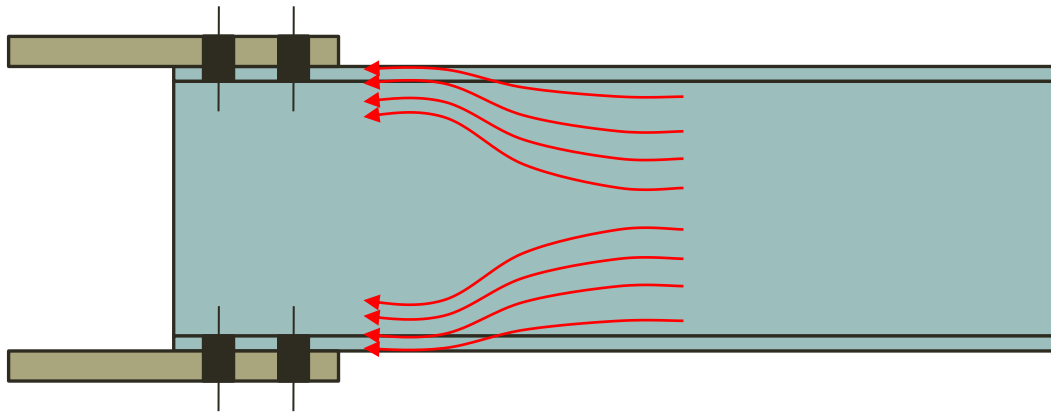


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

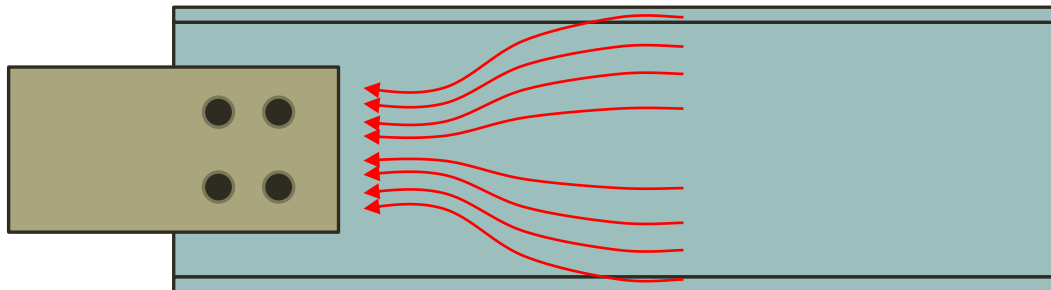
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE C_t



→ $C_t = 1,0$



→ $C_t < 1,0$



→ $C_t < 1,0$

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: 03
Assunto: PFF - Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19



O trabalho PFF - BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE C_t

Chapas com Ligações Parafusadas

Um parafuso ou todos os parafusos da ligação contidos em uma única seção transversal.	$C_t = 2,5 \left(\frac{d}{g}\right) \leq 1,0$
Dois parafusos na direção da solicitação, alinhados ou em ziguezague.	$C_t = 0,5 + 1,5 \left(\frac{d}{g}\right) \leq 1,0$
Três parafusos na direção da solicitação, alinhados ou em ziguezague.	$C_t = 0,67 + 0,83 \left(\frac{d}{g}\right) \leq 1,0$
Quatro ou mais parafusos na direção da solicitação, alinhados ou em ziguezague.	$C_t = 0,75 + 0,625 \left(\frac{d}{g}\right) \leq 1,0$

Perfis com Ligações Parafusadas

Todos os elementos conectados, com dois ou mais parafusos na direção da solicitação	$C_t = 1,0$
Todos os parafusos contidos em uma mesma seção transversal.	$C_t = 2,5 \left(\frac{d}{g}\right) \leq 1,0$
Cantoneiras e Perfis U com dois ou mais parafusos na direção da solicitação (não adotar detalhes que resultem em $C_t < 0,4$)	$C_t = 1 - 1,2 \left(\frac{x}{L}\right) \leq 0,9$

Chapas com Ligações Soldadas

Soldas longitudinais associadas a soldas transversais:

$$C_t = 1,00$$

Somente soldas longitudinais ao longo de ambas as bordas

$$\begin{aligned} \text{Para } b \leq L < 1,5b & C_t = 0,75 \\ \text{Para } 1,5b \leq L < 2b & C_t = 0,87 \\ \text{Para } L \geq 2b & C_t = 1,00 \end{aligned}$$

Perfis com Ligações Soldadas

Todos os elementos conectados:

$$C_t = 1,0$$

Cantoneiras com soldas longitudinais (não adotar detalhes que resultem em $C_t < 0,4$):

$$C_t = 1 - 1,2 \left(\frac{x}{L}\right) < 0,9$$

Perfis U com soldas longitudinais (não adotar detalhes que resultem em $C_t < 0,5$):

$$C_t = 1 - 0,36 \left(\frac{x}{L}\right) < 0,9$$

(Verificar a norma para mais informações)

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

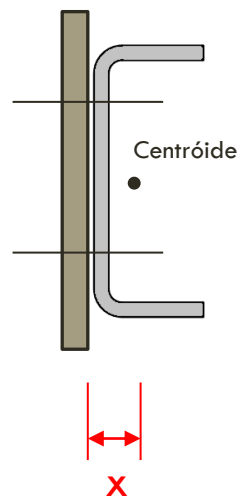
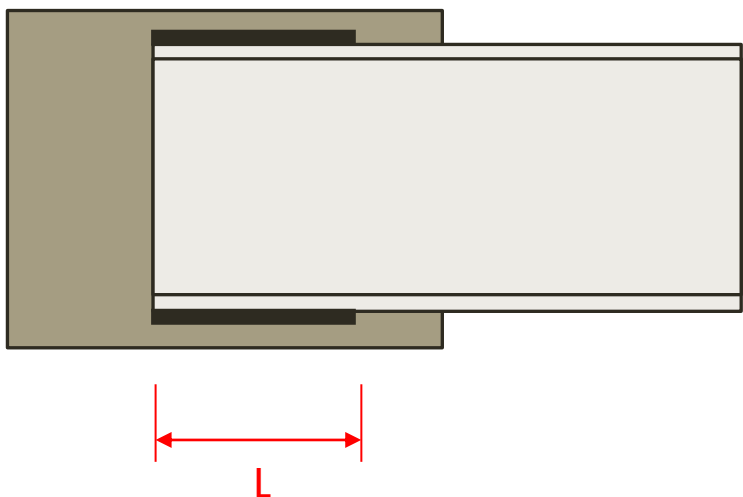
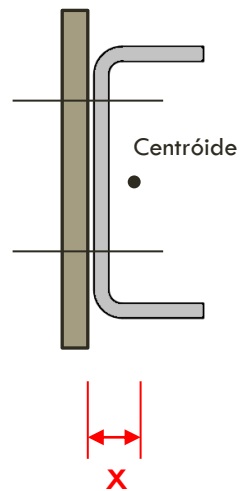
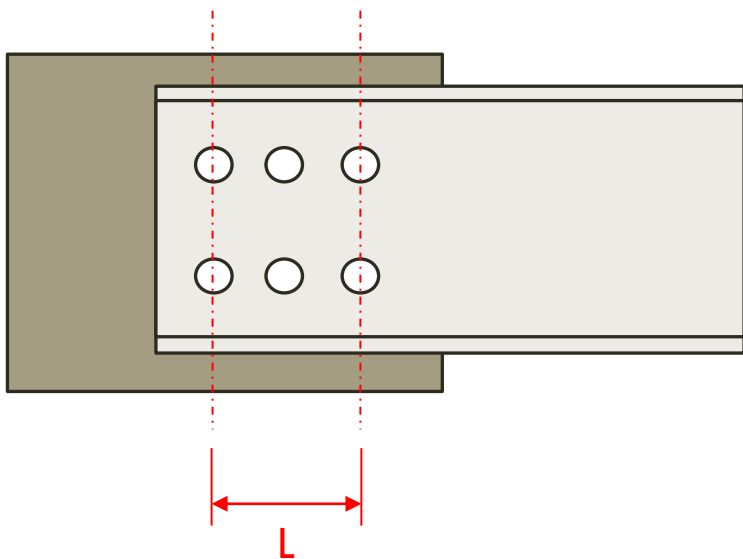
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

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

Número do Arquivo: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NonComercial-Compartilhual 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: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19

N_{iRd}

A_n

C_t

$\lambda_{m\acute{a}x}$

Exercícios



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

Mas, qual é mesmo
diferença entre área,
bruta, área líquida e
área líquida efetiva?



Área Bruta

$$A$$

Área Líquida

$$A_n = 0,9 \left(A - n_f d_f t + \sum \frac{ts^2}{4g} \right)$$

Área Líquida Efetiva

$$A_e = C_t A_n$$

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: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19

N_{iRd}

A_n

C_t

λ_{máx}

Exercícios

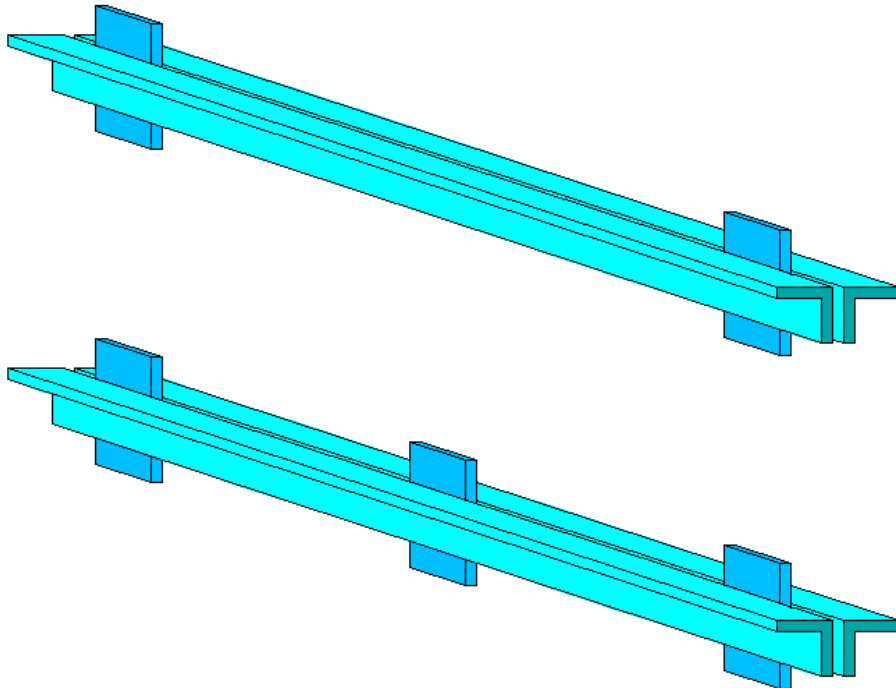


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ESBELTEZ MÁXIMA

NBR 14762/2010

$$\lambda_{m\acute{a}x} \leq 300$$



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: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19

N_{iRd}

A_n

C_t

$\lambda_{m\acute{a}x}$

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).

EXERCÍCIOS

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

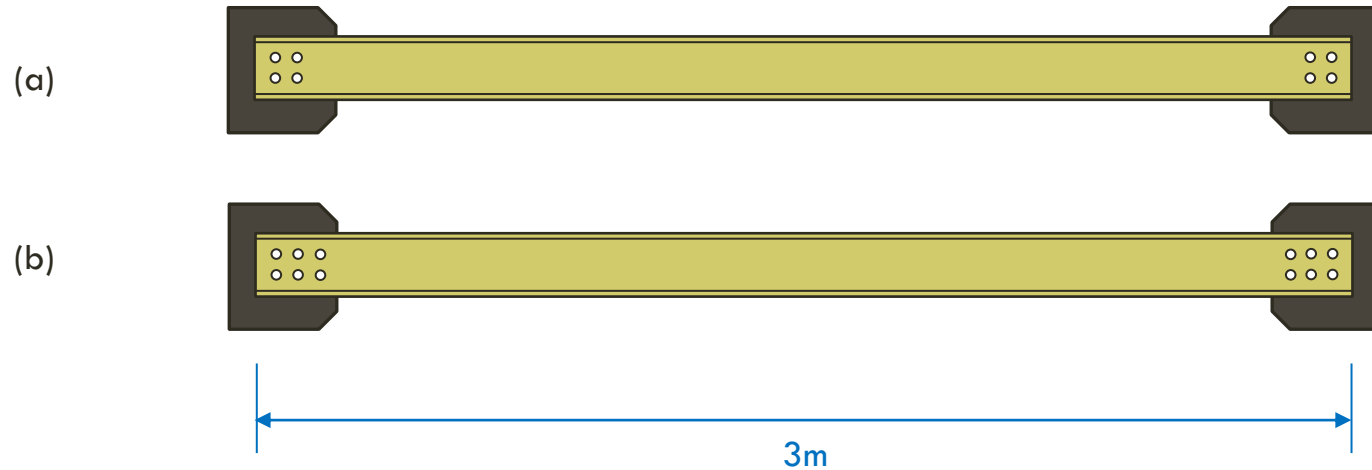
Número do Arquivo: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19



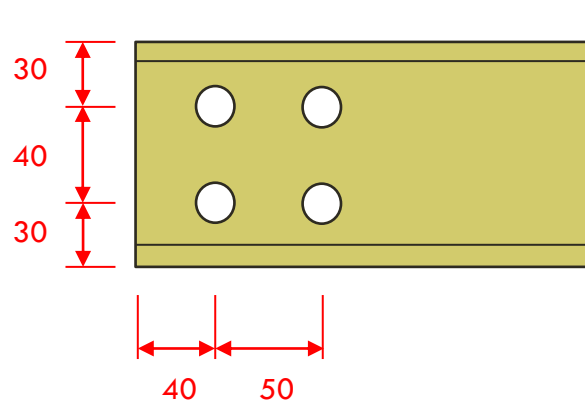
O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

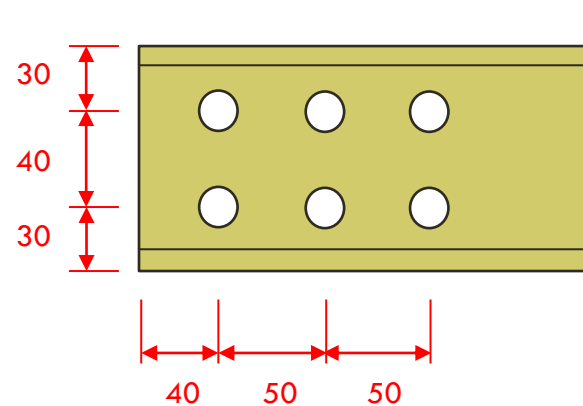
Verifique se um tirante com 3m de comprimento composto por um perfil U 100 x 50 x 3,00 em aço ASTM A36 suporta um esforço de projeto de 80kN. Adote parafusos com diâmetro de 12,5mm instalados em furos padrão. Admita os dois detalhes de ligação indicados a seguir.



Detalhe (a)



Detalhe (b)



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

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

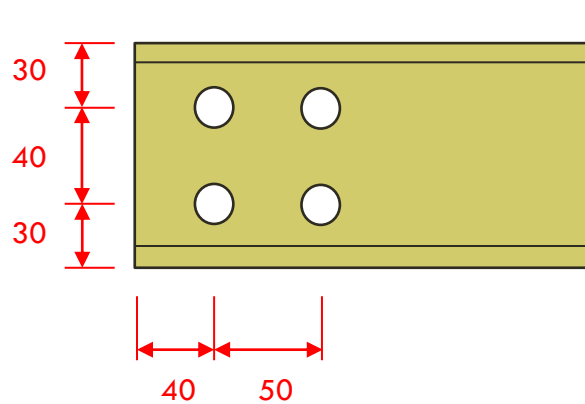
Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19



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

Resolução – Detalhe (a)



Dados da Questão

$$N_{tSd} = 80\text{kN}$$

U 100 x 50 x 3,00

$$A = 5,70\text{cm}^2$$

$$r_x = 3,94\text{cm}$$

$$r_y = 1,57\text{cm}$$

$$x_g = 1,39\text{cm}$$

Aço ASTM A36

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

$$f_u = 40\text{ kN/cm}$$

Parafusos

$$d_b = 12,5\text{mm}$$

$$\text{Folga} = 1,5\text{mm}$$

1. escoamento da Seção Bruta

$$N_{tyRd} = \frac{A f_y}{1,1} = \frac{5,70 \times 25}{1,1}$$

$$N_{tyRd} = 129,64\text{kN}$$

2. Ruptura da Seção Líquida Efetiva

$$d_f = d_p + \text{Folga}$$

$$d_f = 1,25 + 0,15 = 1,4\text{cm}$$

$$A_n = 0,9 \left(A - n_f d_f t + \sum \frac{t s^2}{4g} \right)$$

$$A_n = 0,9(5,70 - 2 \times 1,4 \times 0,3)$$

$$A_n = 4,38\text{cm}^2$$

$$C_t = 1 - 1,2 \left(\frac{x}{L} \right) < 0,9$$

$$C_t = 1 - 1,2 \left(\frac{1,39}{5} \right) = 0,67 < 0,9$$

$$C_t = 0,67$$

$$N_{tuRd} = \frac{C_t A_e f_u}{1,65} = \frac{0,67 \times 4,38 \times 40}{1,65}$$

$$N_{tuRd} = 70,76\text{kN}$$

3. Esforço Resistente (N_{tRd})

$$N_{tuRd} = 70,76\text{kN}$$

$$N_{tuRd} < N_{tSd}$$

Perfil Não Verificado!!!

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: 03

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial

Quantidade de Slides: 19

N_{tRd}

A_n

C_t

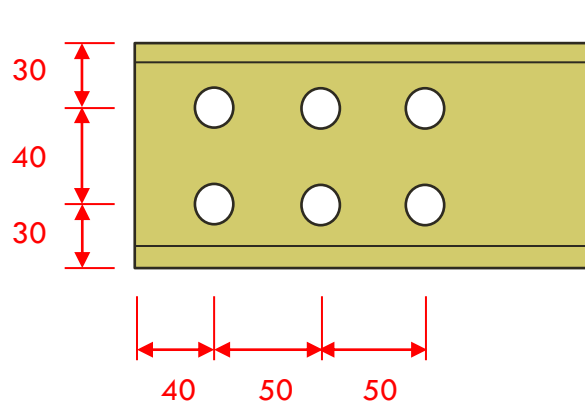
$\lambda_{máx}$

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).

Resolução – Detalhe (b)



Dados da Questão

$$N_{tSd} = 80 \text{ kN}$$

U 100 x 50 x 3,00

$$A = 5,70 \text{ cm}^2$$

$$r_x = 3,94 \text{ cm}$$

$$r_y = 1,57 \text{ cm}$$

$$x_g = 1,39 \text{ cm}$$

Aço ASTM A36

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

$$f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

Parafusos

$$d_b = 12,5 \text{ mm}$$

$$\text{Folga} = 1,5 \text{ mm}$$

1. Escoamento da Seção Bruta

$$N_{tyRd} = \frac{A f_y}{1,1} = \frac{5,70 \times 25}{1,1}$$

$$N_{tyRd} = 129,64 \text{ kN}$$

2. Ruptura da Seção Líquida Efetiva

$$d_f = d_p + \text{Folga}$$

$$d_f = 1,25 + 0,15 = 1,4 \text{ cm}$$

$$A_n = 0,9 \left(A - n_f d_f t + \sum \frac{t s^2}{4g} \right)$$

$$A_n = 0,9(5,70 - 2 \times 1,4 \times 0,3)$$

$$A_n = 4,38 \text{ cm}^2$$

$$C_t = 1 - 1,2 \left(\frac{x}{L} \right) < 0,9$$

$$C_t = 1 - 1,2 \left(\frac{1,39}{10} \right) = 0,83 < 0,9$$

$$C_t = 0,83$$

$$N_{tuRd} = \frac{C_t A_e f_u}{1,65} = \frac{0,83 \times 4,38 \times 40}{1,65}$$

$$N_{tuRd} = 88,44 \text{ kN}$$

3. Esforço Resistente (N_{tRd})

$$N_{tuRd} = 88,44 \text{ kN}$$

$$N_{tuRd} < N_{tSd}$$

Perfil Verificado!!!

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: 03

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial

Quantidade de Slides: 19

N_{tRd}

A_n

C_t

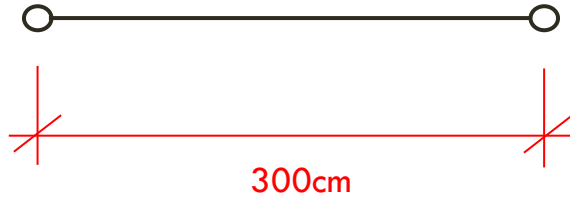
$\lambda_{máx}$

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).

Resolução – Detalhes (a) e (b)



4. Verificação da Esbeltez Máxima

$$\lambda_x = \frac{k_x L_x}{r_x} = \frac{300}{3,94} = 76,12$$

$$\lambda_y = \frac{k_y L_y}{r_y} = \frac{300}{1,57} = 191,15$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 191,15 < 300 \quad \text{Ok!!!}$$

Dados da Questão

$$N_{iSd} = 80\text{kN}$$

$$U\ 100 \times 50 \times 3,00$$

$$A = 5,70\text{cm}^2$$

$$r_x = 3,94\text{cm}$$

$$r_y = 1,57\text{cm}$$

$$x_g = 1,39\text{cm}$$

Aço ASTM A36

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

$$f_u = 40\text{ kN/cm}$$

Parafusos

$$d_b = 12,5\text{mm}$$

$$\text{Folga} = 1,5\text{mm}$$

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: 03

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial

Quantidade de Slides: 19

N_{iRd}

A_n

C_t

$\lambda_{m\acute{a}x}$

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014). **NBR 14762 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, RJ.

MAIOLA, C. H. (2004). **Ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

SILVA, E. L.; PIERIN, I.; SILVA, V. P. (2014). **Estruturas compostas por perfis formados a frio: dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 6355:2012**. Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, RJ.

IMAGENS/ILUSTRAÇÕES



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: 03
Assunto: **PFF – Barras Submetidas à Tração axial**
Quantidade de Slides: 19

N_{iRd}

A_n

C_t

$\lambda_{máx}$

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](#).

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: 03
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Tração axial
Quantidade de Slides: 19



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO AXIAL: 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/).