

PFF – ESTRUTURAS DE AÇO EM PERFIS FORMADOS A FRIO

BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA

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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2ª.
Ordem

Critério de
Norma

Flexão
Obliqua

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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/).



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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2ª.
Ordem

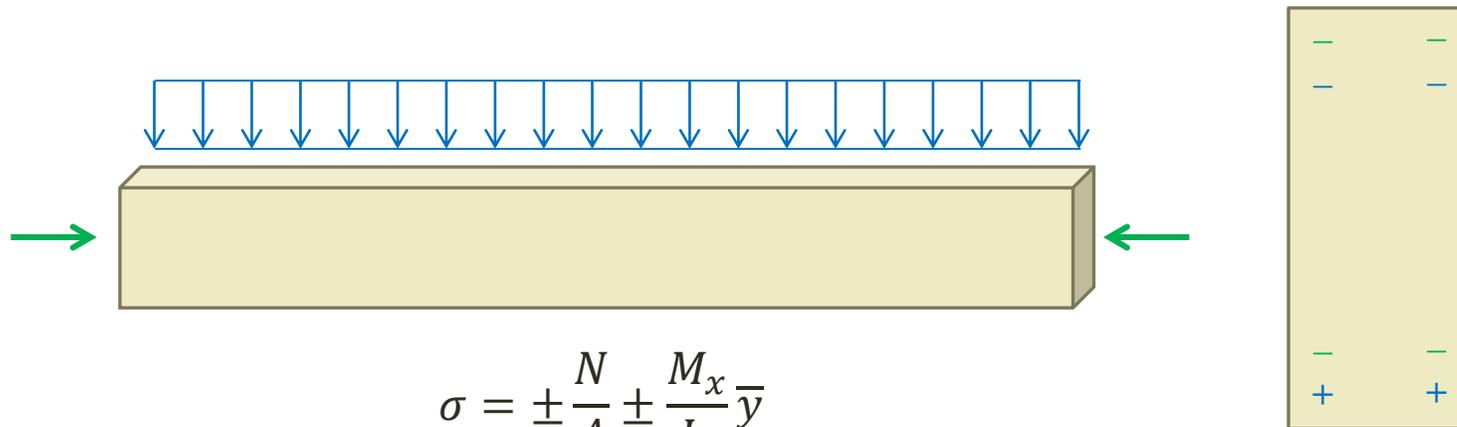
Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

Exercícios

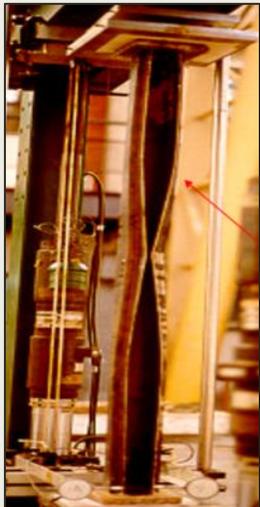


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



$$\sigma = \pm \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{I_x} \bar{y}$$

Modos de colapso relacionados a solicitação isolada de compressão ou flexão



VAZQUEZ (2002)



Fonte: MAIA (2008)



JAVARONI (1999)



Fonte: SILVA (2018)



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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2a.
Ordem

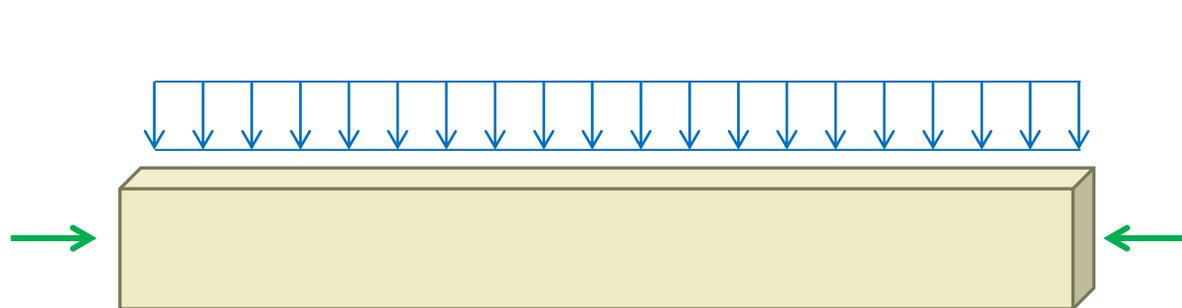
Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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/).



$$\sigma = \pm \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{I_x} \bar{y}$$

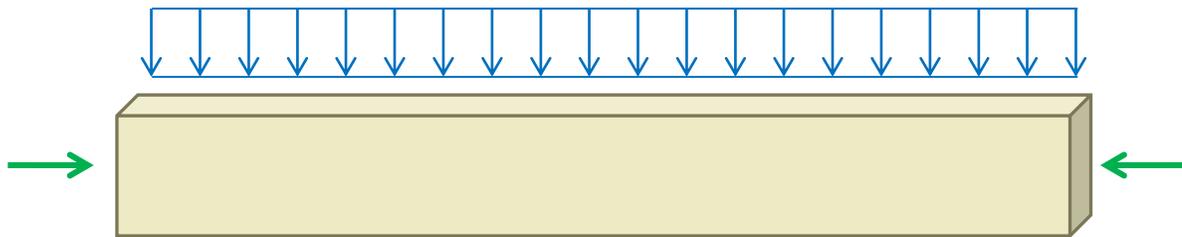


Procedimento Padrão

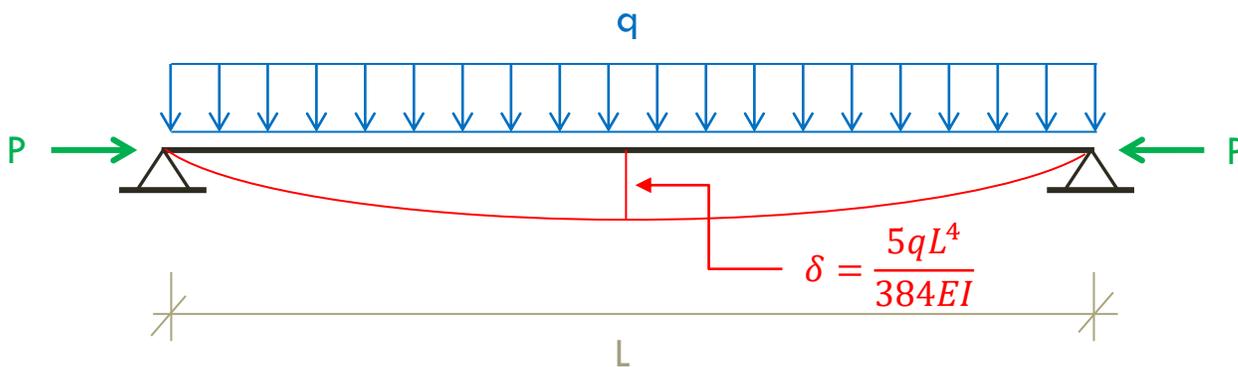
1. Verificação isolada do esforço de axial;
2. Verificação isolada do momento fletor;
3. Verificação do efeito combinado N + M.



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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/).



$$\sigma = \pm \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{I_x} \bar{y}$$



{	Na Posição Indeslocada:	$M = \frac{qL^2}{8}$
	Na Posição Deslocada:	$M = \frac{qL^2}{8} + P \times \frac{5qL^4}{384EI}$

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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2a.
Ordem

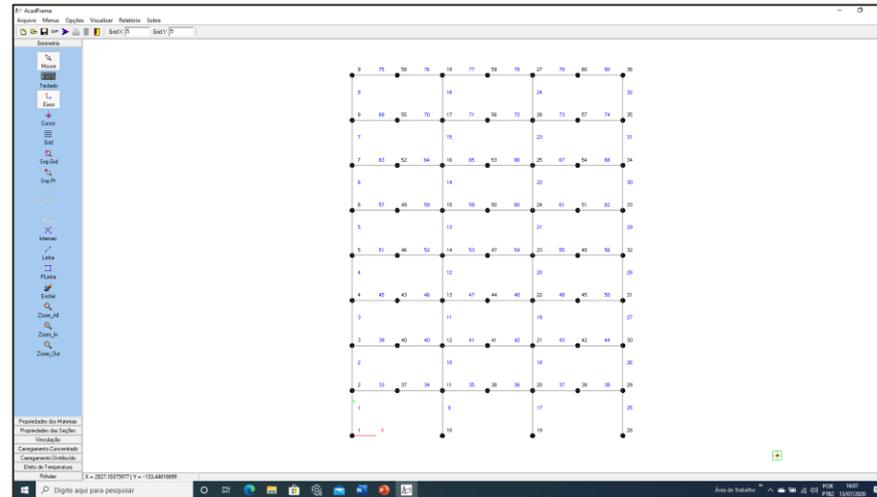
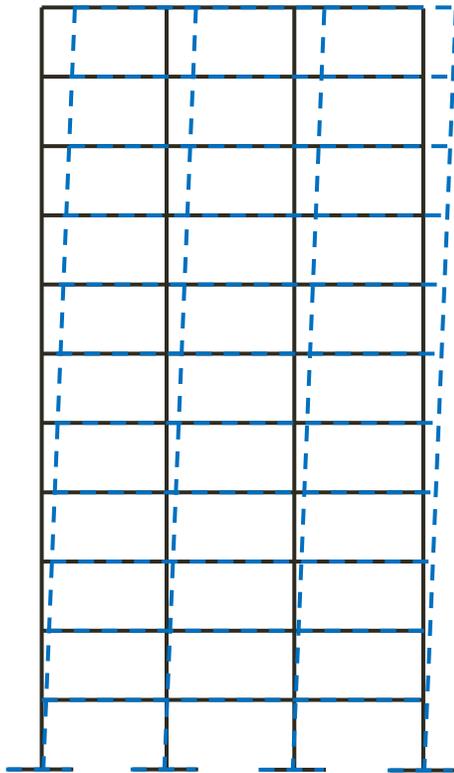
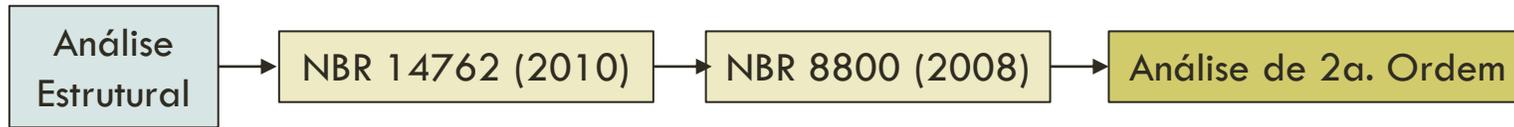
Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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/).



O Programa AcadFrame faz análise considerando a NLG

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

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

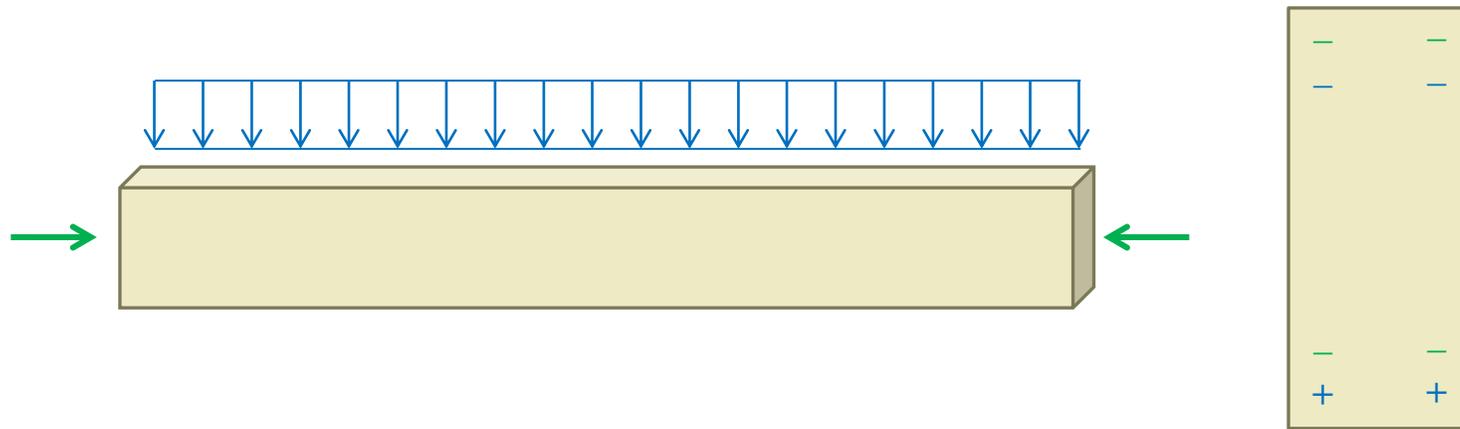
Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2ª. Ordem	Critério de Norma	Flexão Obliqua	Exercícios
---------------------	-------------------	----------------	------------

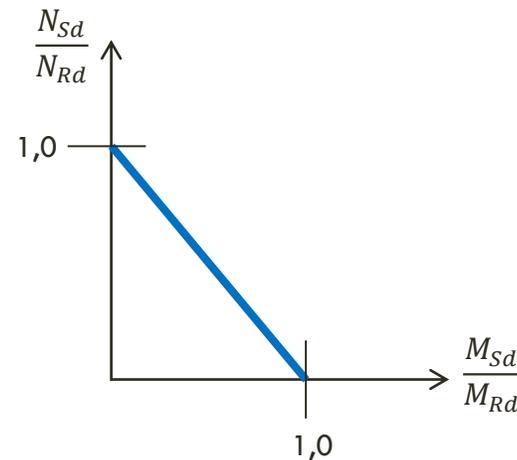


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Critério da NBR 14762 (2010)

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1,0$$



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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2a.
Ordem

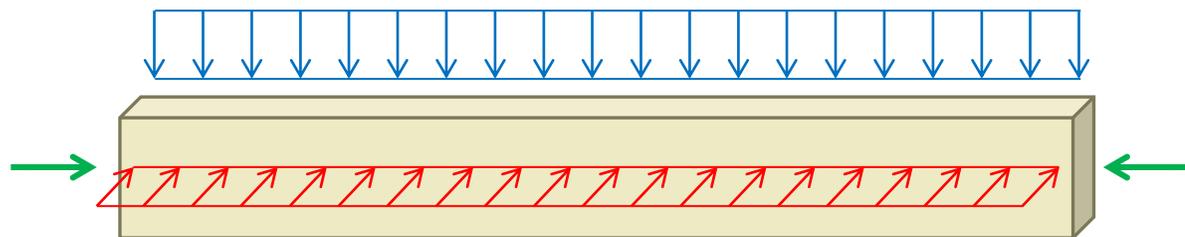
Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

Exercícios



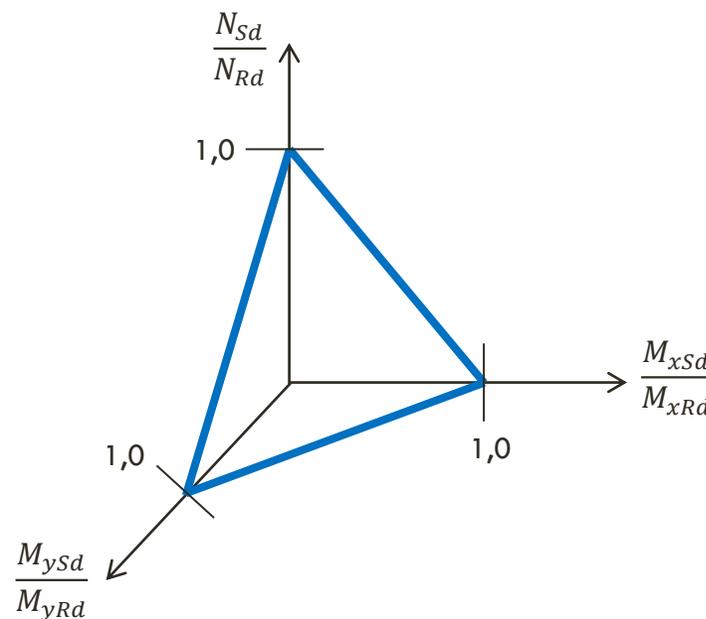
O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



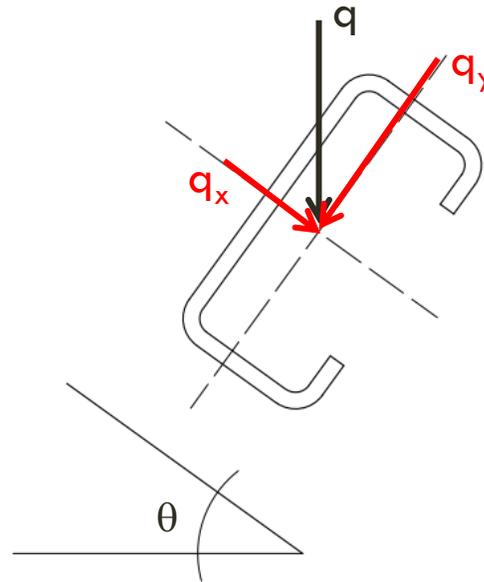
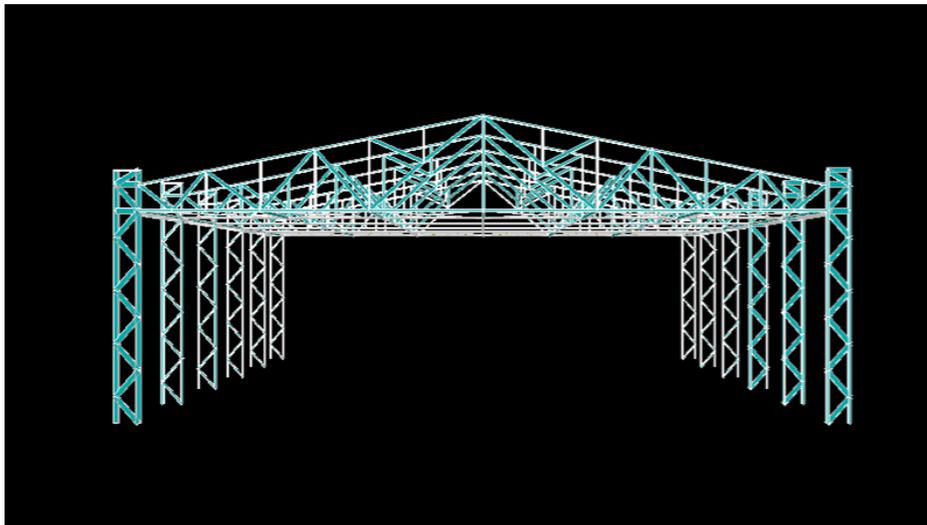
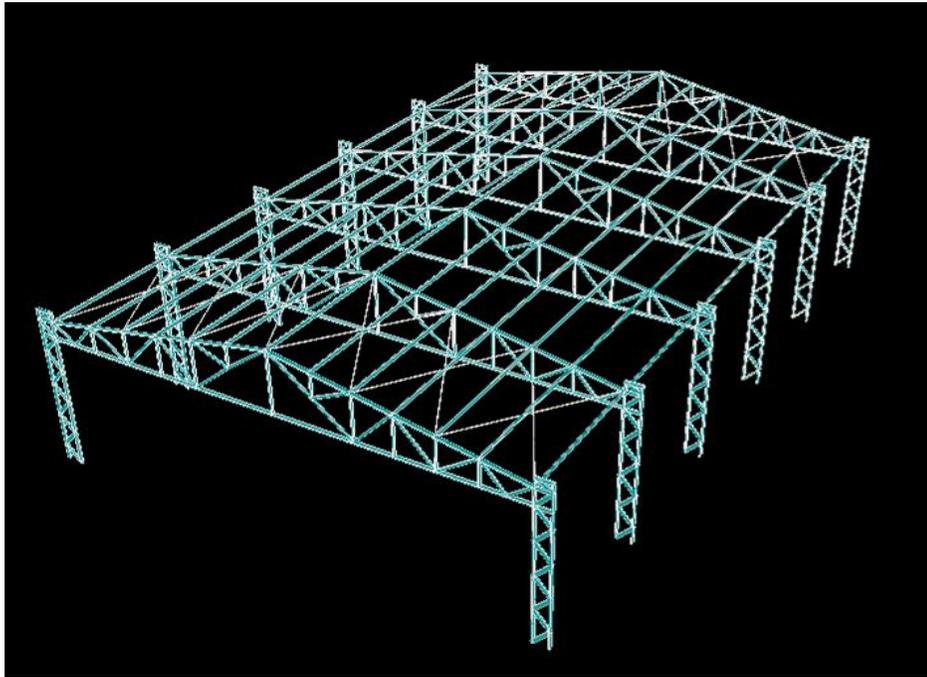
-	-
-	-
-	+
-	-
+	+
-	+

Critério da NBR 14762 (2010)

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \leq 1,0$$



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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/).



$$q_y = q \cos\theta$$
$$q_x = q \sin\theta$$

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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2a.
Ordem

Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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 RESOLVIDOS

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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2ª.
Ordem

Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

Exercícios

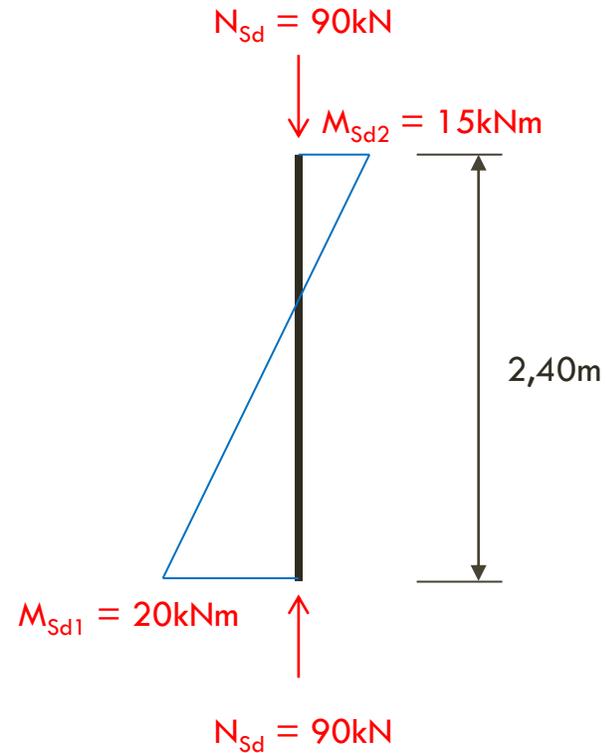


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO 1

Verifique se um perfil Ue 250 x 85 x 25 x 4,25 em aço com tensão de escoamento de 300MPa suporta os esforços de projeto mostrados na figura ao lado, os quais foram obtidos após análise em teoria de segunda ordem.

A barra tem 2,40m de comprimento e possui travamentos laterais apenas nos apoios. A flexão ocorre em relação ao eixo de maior inércia da seção.



Resolução:

$$N_{Sd} = 90\text{kN}$$

$$M_{xSd} = 2.000\text{kNcm}$$

Pelo MSE (Aplicativo PFF 14762):

$$N_{Rd} = 301,21\text{kN}$$

$$M_{xRd} = 3.503,90\text{kNcm}$$

Verificando a equação de interação da NBR:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = \frac{90}{301,21} + \frac{2.000}{3.503,90} = 0,87 \leq 1,0$$

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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2a.
Ordem

Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

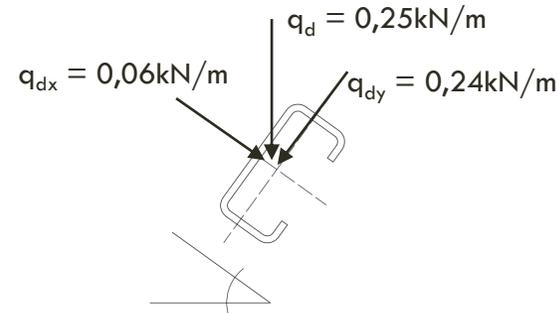
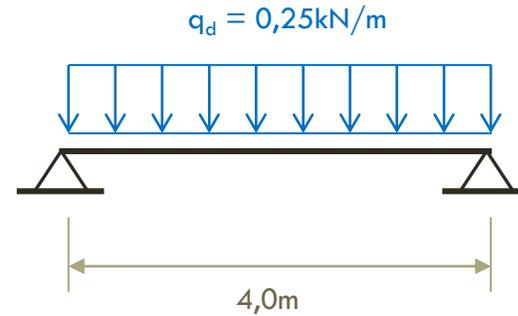
Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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/).

EXERCÍCIO 2

Verifique a terça indicada na figura ao lado. Adote perfil Ue 100 x 50 x 17 x 1,20 em aço com tensão de escoamento de 250MPa. O carregamento atuante é decorrente de ações gravitacionais e seu valor de cálculo é de 0,25kN/m. Apenas os apoios estão travados lateralmente. A inclinação do telhado é de 15°.



Resolução:

Esforços de Projeto:

$$q_{dy} = q_d \cos\theta = 0,24\text{kN/m}$$

$$q_{dx} = q_d \sin\theta = 0,06\text{kN/m}$$

$$M_{xSd} = 0,24 \times 4,0^2 / 8 = 0,483\text{kNm} = 48,30\text{kNcm}$$

$$M_{ySd} = 0,06 \times 4,0^2 / 8 = 0,129\text{kNm} = 12,90\text{kNcm}$$

Pelo MLE (ver exemplo resolvido em SILVA et al. (2014)):

$$M_{xRd} = 64,60\text{kNcm}$$

$$M_{yRd} = 67,30\text{kNcm}$$

Obs.: nesse exercício não será possível adotar o MSE.

Verificando a equação de interação da NBR:

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = \frac{48,30}{64,60} + \frac{12,90}{67,30} = 0,94 \leq 1,0$$

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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2a.
Ordem

Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008). **NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, RJ.

CODA, H. B.; PACCOLA, R. R. (2006). **AcadFrame: software acadêmico para análise de pórticos e treliças planas**. Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/software_depto/acadframe/. Último acesso em 03 de julho de 2020.

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.

MAIA, W. F. (2008). **Sobre a estabilidade de cantoneiras de aço formadas a frio submetidas à compressão**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP. São Carlos, SP.

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.

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.

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.

VAZQUEZ, E. G. (2002). **Análise teórica e experimental da instabilidade torcional de perfis formados a frio sob compressão centrada**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.

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: **06**
Assunto: **PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta**
Quantidade de Slides: **14**

Efeito de 2a.
Ordem

Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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/).

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: 06
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Flexão Composta
Quantidade de Slides: 14

Efeito de 2ª.
Ordem

Critério de
Norma

Flexão
Oblíqua

Exercícios



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA: 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/).