

AUTOMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DOS ESFORÇOS RESISTENTES DE CÁLCULO DE ELEMENTOS DE PFF SOLICITADOS AXIALMENTE SEGUNDO A NBR 14762/2001 E A 6355/2003

Edson Florentino de Souza ¹ ; Marcelo R. de Matos Pedreiro ² ; Roberto Racanicchi ³

¹ Professor Mestre, Universidade Camilo Castelo Branco, Curso de Engenharia Civil
Estrada Projetada F1 s/n, Fazenda Santa Rita
15600-000 – Fernandópolis – SP
edsonflorentino@uol.com.br

² Engenheiro Civil, Universidade Camilo Castelo Branco, Curso de Engenharia Civil
Estrada Projetada F1 s/n, Fazenda Santa Rita
15600-000 – Fernandópolis – SP
marcelo.pedreiro@bol.com.br

³ Professor Mestre, Universidade Camilo Castelo Branco, Curso de Engenharia Civil
Estrada Projetada F1 s/n, Fazenda Santa Rita
15600-000 – Fernandópolis – SP
rracanicchi@terra.com.br

Resumo: Neste trabalho é desenvolvido um programa computacional que automatiza o processo de avaliação dos esforços resistentes de perfis metálicos formados à frio (perfis de chapa dobrada) solicitados axialmente, segundo as recomendações de procedimento da NBR 14762:2001 e de padronização da NBR 6355:2003. Como o dimensionamento manual assume o procedimento de verificação das condições de segurança de um perfil, e, em caso negativo, sua substituição e repetição dos cálculos, o programa torna o dimensionamento de um elemento metálico para barra de treliça, por exemplo, um trabalho menos árduo ao engenheiro de estruturas metálicas. Além da perfeita possibilidade de utilização por um engenheiro de estruturas, o programa permitirá aos alunos da disciplina “Estruturas Metálicas”, oferecida pelo curso de engenharia civil da FET/UNICASTELO, o desenvolvimento de mais exemplos práticos, uma vez que o processo otimiza o tempo.

Palavras-chave: Estruturas Metálicas, Perfis Formados a Frio, Cálculo Estrutural, Treliças Planas.

1. INTRODUÇÃO

Segundo YU (1985), o emprego dos perfis formados a frio em construções teve início por volta de 1850 nos Estados Unidos e Grã-Bretanha, correspondendo, entretanto, a uma utilização restrita e ausente de informações técnicas específicas sobre o comportamento estrutural destes elementos.

Somente a partir de 1939 é que as pesquisas foram efetivamente iniciadas, por iniciativa e financiamento do American Iron and Steel Institute (AISI), tendo como responsável o Prof. George Winter, da Cornell University. Em 1946, os resultados destas pesquisas deram origem

à primeira especificação para o projeto de elementos estruturais formados a frio, publicada pelo AISI. Desta forma, pode-se registrar que os norte-americanos foram os pioneiros nas pesquisas e no emprego criterioso destes elementos.

A partir de 1946, houve um grande impulso na utilização dos perfis formados a frio não somente na construção civil, mas também em outros setores que empregam estruturas metálicas. Várias edições da especificação AISI foram publicadas, sendo que a edição de 1986 foi a última a incorporar somente o tradicional método das tensões admissíveis. Em 1991 foi publicada a primeira edição em estados limites, e em 1996 a segunda, incorporando também o método das tensões admissíveis como alternativa. Recentemente foi publicada a norma norte-americana - North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, 2001 Edition, e também a edição comentada - Commentary on the Specification (2001) - sendo ambas válidas no Estados Unidos, Canadá e México.

No Brasil, o emprego dos perfis formados a frio teve início praticamente no final da década de 60, quando algumas empresas adquiriram equipamentos específicos para a realização das operações de formação a frio, ou seja, prensas dobradeiras e mesas de roletes.

Em 1967 foi publicada a norma ABNT/NB-143 – Cálculo de estruturas de aço, constituídas por perfis leves, voltada ao projeto de estruturas em perfis formados a frio, cujo texto foi elaborado com base na edição de 1962 da especificação do AISI. Esta norma não foi adequadamente divulgada e foi pouco utilizada, não sofrendo revisões ao longo do tempo, consistindo, portanto em um documento técnico obsoleto e muito vago em alguns itens, como por exemplo, nas ligações. A obsolescência da NB-143, vinculada à antiga NB-14:1968 (tensões admissíveis), praticamente obrigava os projetistas a adotarem normas estrangeiras, como as do AISI (American Iron and Steel Institute), CSA (Canadian Standards Institute) e outras.

Em 1980 foi publicada a norma NBR 6355 – Perfis estruturais, de aço, formados a frio, a qual estabelece uma padronização de perfis formados a frio, apresentando nomenclatura, simbologia, dimensões e tolerâncias a serem respeitadas pelos perfis com propósito estrutural. Assim como a NB-143, essa norma foi pouco divulgada e utilizada, sendo desconhecida por muitos projetistas e até mesmo por fabricantes de perfis. Em dezembro de 2001 foram iniciados os trabalhos de revisão da NBR 6355:1980, com o propósito de padronizar perfis adequados ao nosso mercado, estabelecer tolerâncias de fabricação compatíveis com a indústria local e conferir compatibilidade com a nova norma de dimensionamento. Atualmente já existe um projeto de norma elaborado com relação à mesma.

A “inexistência” de uma norma brasileira para cálculo de estruturas em perfis formados a frio levou os projetistas a adotar uma norma estrangeira, muitas vezes gerando incompatibilidades principalmente quando é utilizada simultaneamente nos projetos a NBR 8800:1986 - Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios, para os perfis laminados e soldados. Os coeficientes de ponderação das ações e os coeficientes de resistência diferem de norma para norma, portanto adotar as combinações de ações previstas na NBR-8800:1986 ou mesmo na NBR-8681:1984 - Ações e segurança nas estruturas, e comparar os respectivos esforços solicitantes de cálculo aos esforços resistentes de cálculo estabelecidos por outra norma é, claramente, uma incompatibilidade.

Por outro lado, adotar a ABNT/NBR-8800:86 simultaneamente com normas em tensões admissíveis constitui-se numa incompatibilidade ainda maior, pois envolve dois métodos distintos para introdução da segurança.

A publicação de uma norma brasileira voltada ao projeto de estruturas em perfis formados a frio, cujos coeficientes de ponderação das ações e das resistências, além da nomenclatura e simbologia, fossem adequadamente calibrados e ajustados com outras normas brasileiras, proporcionando uniformidade de critérios e maior coerência nos projetos, foi a solução encontrada.

Em agosto de 1997 foi constituído pela ABCEM (Associação Brasileira da Construção Metálica) e com apoio da USIMINAS, um Grupo de Trabalho para a elaboração de um texto-base para norma brasileira, composto por docentes de várias universidades e representantes de empresas do setor. Houve, portanto, intensa pesquisa, buscando o necessário embasamento teórico que, aliado ao levantamento das particularidades da construção metálica brasileira, permitiram elaborar um texto para a nova norma, que traz procedimentos atualizados e compatíveis com a nossa realidade. Como um desfecho para tal trabalho, recentemente ocorreu a publicação da nova norma brasileira NBR 14762:2001 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

A crescente demanda pelo uso de perfis de aço formados a frio tem estimulado avanços especialmente em três segmentos: fabricação de perfis, matéria-prima e pesquisa.

Diferentemente da situação que se apresenta aqui no Brasil, no exterior as pesquisas têm se desenvolvido com uma rapidez maior, em especial na Austrália e nos Estados Unidos, além de outros centros que apresentam notório desenvolvimento relativo ao estudo dos perfis de aço formados a frio.

Segundo DAVIES (2000), nos Estados Unidos aproximadamente 500 residências foram construídas sob o conceito de estruturas de aço leves em 1992. Tal número cresceu para 15.000 em 1993, 75.000 em 1994, sendo que se estima para o ano de 2002 um aumento ainda maior de residências, além de outras obras empregando-se perfis de aço formados a frio.

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um programa computacional que automatiza o processo de avaliação dos esforços resistentes de perfis metálicos formados à frio (perfis de chapa dobrada) solicitados axialmente, segundo as recomendações de procedimento da NBR 14762:2001 e de padronização da NBR 6355:2003.

2. BASES TEÓRICAS E MODELOS MATEMÁTICOS

2.1 Aspectos relativos à NBR 6355:2003

Para os efeitos da NBR 6355, consideram-se as seguintes definições:

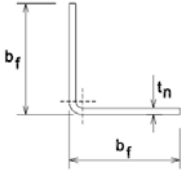
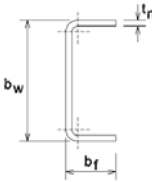
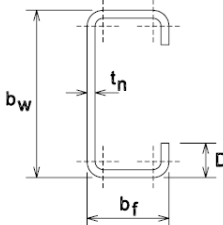
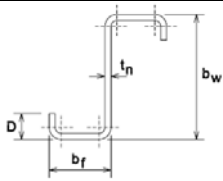
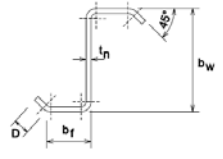
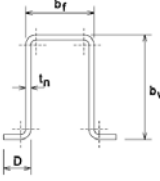
- ❑ **Perfil estrutural de aço formado a frio:** Perfil obtido por dobramento, em prensa dobradeira, de tiras cortadas de chapas ou bobinas, ou por conformação contínua em conjunto de matrizes rotativas, a partir de bobinas laminadas a frio ou a quente, revestidas ou não, sendo ambas as operações realizadas com o aço em temperatura ambiente.
- ❑ **Elemento:** Parte constituinte de um perfil formado a frio: mesa, alma, enrijecedor e outros.
- ❑ **Largura nominal do elemento:** Largura total do elemento incluindo as regiões de dobra, medida no plano da seção transversal e empregada para designação do perfil.

As séries comerciais de perfis estruturais de aço formados a frio e suas respectivas designações são apresentadas na “Tabela 1”.

Para a fabricação dos perfis estruturais formados a frio devem ser empregadas chapas de aço, laminadas a frio ou a quente, com ou sem revestimento, atendendo as recomendações quanto ao uso de aços com ou sem qualificação estrutural e que possuam propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio.

Não devem ser adotados no projeto valores superiores a 180 MPa e 300 MPa para as resistências ao escoamento e à ruptura, respectivamente.

Tabela 1 - Séries comerciais de perfis estruturais e respectivas designações

Série	Seção transversal	Designação ¹⁾
Cantoneira de abas iguais		L bf x tn Exemplo: L 50x3,00
U simples		U bw x bf x tn Exemplo: U 150x50x2,65
U enrijecido		Ue bw x bf x D x tn Exemplo: Ue 150x60x20x2,65
Z enrijecido a 90°		Z90 bw x bf x D x tn Exemplo: Z90 200x75x20x2,25
Z enrijecido a 45°		Z45 bw x bf x D x tn Exemplo: Z45 200x75x20x2,25
Cartola		Cr bw x bf x D x tn Exemplo: Cr 100x50x20x3,35
¹⁾ As dimensões devem ser apresentadas em milímetros.		

As propriedades geométricas são obtidas segundo o emprego do “método linear”, isto é, todo o material é admitido como concentrado na linha média da seção (linha esqueleto) e os elementos são tratados como linhas retas (parte plana) ou curvas (dobras), exceto no cálculo de C_w e da posição do centro de torção (CT) onde as dobras são consideradas como cantos retos. Os valores assim obtidos são multiplicados pela espessura t , de maneira a obter as propriedades geométricas de interesse; para todos os perfis, o eixo x é o eixo paralelo à mesa ou aba.

2.2 Dimensionamento à tração segundo a NBR 14762:2001

A força normal de tração resistente de cálculo ($N_{t,Rd}$) deve ser tomada como o menor valor obtido para o seu cálculo através das “equações 1 e 2”, a saber:

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{g} \quad (g = 1,1) \quad (1)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_n f_u}{g} \quad (g = 1,35) \quad (2)$$

Na “equação 1”, A é a área bruta da seção transversal da barra associada ao Estado Limite Último de escoamento, calculada segundo o apresentado no item 2.1 e f_y a tensão de escoamento do aço estrutural utilizado. Já na “equação 2”, A_n é a área líquida da seção transversal da barra associada ao Estado Limite Último de ruptura da seção efetiva e é determinada segundo a ligação (parafusada ou soldada) presente no elemento e f_u a tensão de ruptura do aço estrutural utilizado. Ainda na “equação 2”, C_t trata-se de um coeficiente de redução, obtido também de acordo com o aspecto da ligação presente no elemento.

As considerações normativas relacionadas à determinação de A_n e C_t são abordadas no item 3.4 deste trabalho.

2.3 Dimensionamento à compressão segundo a NBR 14762:2001

Os perfis usados na construção metálica, por serem esbeltos, apresentam instabilidades que atribuem ao dimensionamento à compressão procedimentos de verificação bastante extensos, tornando-se inviável sob o ponto de vista do cálculo manual.

Um perfil comprimido pode entrar em colapso por: (i) escoamento; (ii) por flambagem local de um ou mais elementos (mesas, alma ou enrijecedores) – “Figura 1.a”; (iii) por flambagem global – “Figura 1.b”; (iv) por flambagem por distorção – “Figura 1.c”; ou ainda, (v) pela interação dos modos i e ii ou pela interação dos modos i , ii e iii – “Figura 1.d”.

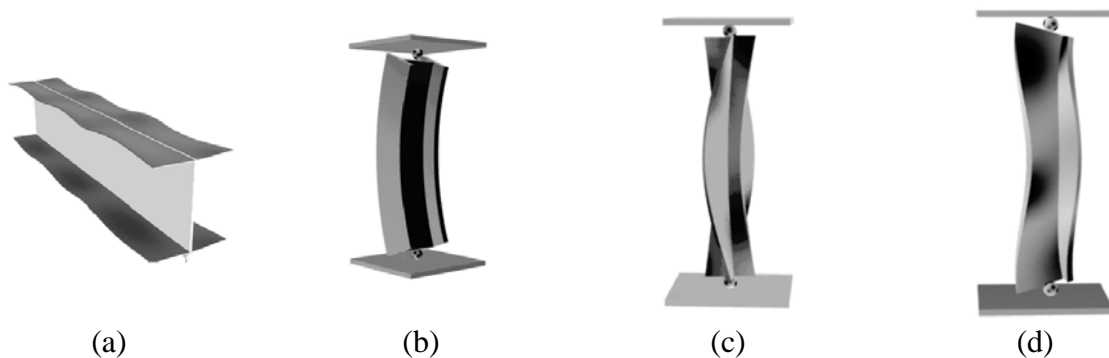


Figura 1 – Modos de colapso de um perfil comprimido: (a) flambagem local, (b) flambagem global, (c) flambagem por distorção e (d) interação de modos de flambagem.

Com respeito à flambagem local, sua abordagem clássica é realizada por uma redução da área do perfil real, o que define a área efetiva. Nesse processo aplica-se o conceito de *largura efetiva* em todos os seus elementos. Assim cada elemento será considerado uma placa isolada, considerando os outros elementos que a ele estão ligados como se fossem seus apoios.

De acordo com essa analogia, um perfil U, formado por três elementos, para efeito de flambagem local, será formado como uma composição de três placas: as mesas que compõem duas placas AL (elemento com borda livre) e a alma compondo uma placa AA (elemento com bordas vinculadas). A “Figura 2” ilustra esta classificação para diferentes perfis.

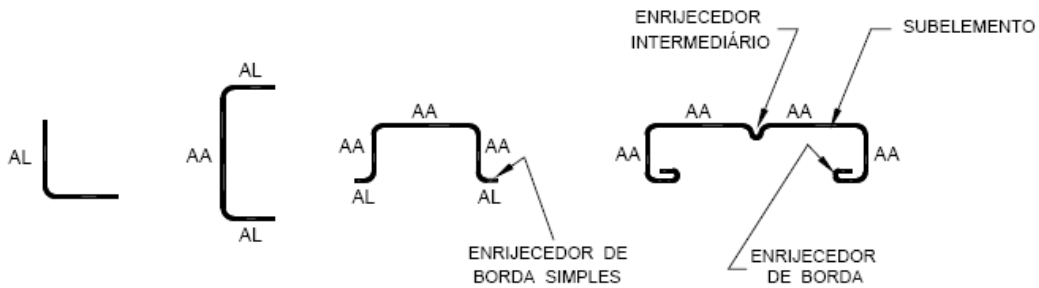


Figura 2 – Classificação dos elementos componentes de perfis metálicos para a consideração de placas isoladas.

A largura efetiva de cada um dos elementos é obtida pela “equação 3”:

$$b_{ef} = \begin{cases} b & ; \text{para } \lambda_p \leq 0,673 \\ \frac{\alpha}{1 - 0,22/\lambda_p^2} \cdot \frac{b}{\lambda_p} & ; \text{para } \lambda_p > 0,673 \end{cases} \quad (3)$$

Na “equação 3” a largura efetiva é obtida com base nos valores do índice de esbeltez reduzido (λ_p), o qual é determinado pela “equação 4”.

$$\lambda_p = \frac{b/t}{0,95\sqrt{kE/s}} \quad (4)$$

Conforme observado na “equação 4”, o índice de esbeltez reduzido (λ_p) é função da relação largura espessura do elemento (b/t) - limitada a um valor condicionado às características do elemento isolado em análise, à tensão máxima admitida no perfil (σ), ao módulo de elasticidade longitudinal do aço estrutural utilizado (E) e a um coeficiente de flambagem local (k).

O coeficiente de flambagem local (k) é obtido segundo a distribuição de tensões ao qual o elemento isolado em análise esteja submetido. A “Figura 3” ilustra um exemplo de determinação deste coeficiente para um elemento AL.

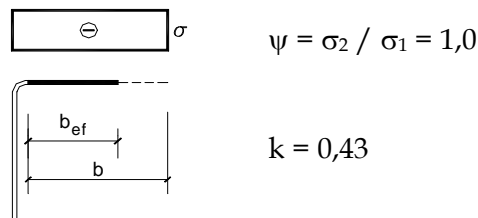


Figura 3 – Obtenção do coeficiente de flambagem local para um elemento AL.

Com respeito à flambagem global, primeiramente limita-se a esbeltez do elemento comprimido a 200. Observado este critério normativo, e tendo-se calculado a área efetiva do perfil (A_{ef}) com base nas larguras efetivas de seus elementos, a força normal de compressão resistente de cálculo ($N_{c,Rd}$) deve ser calculada segundo a “equação 5”.

$$N_{c,Rd} = \frac{r A_{ef} f_y}{g} \quad (g = 1,1) \quad (5)$$

Na “equação 5” f_y é a tensão de escoamento do aço estrutural utilizado e r um fator de redução associado à flambagem. Esse fator é obtido, analiticamente ou através de tabelas segundo a NBR 14762:2001 em função do índice de esbelteza reduzido para barras comprimidas, calculado segundo a “equação 6”.

$$l_o = \sqrt{\frac{A_{ef} f_y}{N_e}} \quad (6)$$

Na “equação 6”, a força normal de flambagem elástica (N_e) é, para os perfis com dupla simetria ou simétricos em relação a um ponto, o menor valor dentre os obtidos para (i) força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo principal x – “equação 7”, (ii) força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo principal y – “equação 8”; e (iii) força normal de flambagem elástica por torção – “equação 9”.

$$N_{ex} = \frac{p^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (7)$$

$$N_{ey} = \frac{p^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (8)$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \frac{p^2 EC_w}{(K_t L_t)^2} + GI_t \frac{\dot{\theta}}{\theta} \quad (9)$$

Nos perfis monossimétricos, a força normal de flambagem elástica (N_e) é, o menor valor dentre os obtidos para (i) força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo principal y – “equação 10”; e (ii) força normal de flambagem elástica por flexo-torção – “equação 11”.

$$N_{ey} = \frac{p^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (10)$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2[1 - (x_0 / r_0)^2]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{ex}N_{et}[1 - (x_0 / r_0)^2]}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] \quad (11)$$

Nos perfis assimétricos, a força normal de flambagem elástica é dada pela menor das raízes da seguinte equação cúbica apresentada pela “equação 12”.

$$r_0^2 (N_e - N_{ex})(N_e - N_{ey})(N_e - N_{et}) - N_e^2 (N_e - N_{ey})x_0^2 - N_e^2 (N_e - N_{ex})y_0^2 = 0 \quad (12)$$

Nas equações de 7 a 12, todos os parâmetros envolvidos referem-se às características geométricas dos perfis em análise, segundo o apresentado no item 2.1.

3. O PROGRAMA “PFF-TC-CALC/1®”

Nesta seção é apresentado o principal escopo do presente trabalho: o desenvolvimento de uma ferramenta computacional na linguagem Delphi®, para avaliação das resistências de cálculo de elementos estruturais, de aço, constituídos por perfis formados a frio e axialmente solicitados, segundo as recomendações normativas das normas brasileiras atualmente em vigor: a NBR 14762:2001 e a NBR 6366:2003. Serão discutidos os módulos operacionais da ferramenta desenvolvida.

Uma grande necessidade dos profissionais que trabalham com estruturas metálicas é a existência de um programa que além de analisar sistemas reticulados de aço, permita o seu dimensionamento segundo as normas brasileiras, utilizando-se os perfis mais utilizados. Para caso específico de perfis de chapa dobrada, a grande maioria dos pacotes comerciais hoje existentes e destinados a este fim, efetuam o dimensionamento segundo o EUROCODE e a AISI.

Sendo assim, o “PFF-TC-Calc/1®”, programa desenvolvido nesta pesquisa, embora ainda não dotado com todos os recursos necessários ao desenvolvimento dos projetos estruturais (potencial almejado para versões futuras), já auxilia o profissional de engenharia de estruturas no cálculo da resistência à compressão e/ou tração de elementos de PFF axialmente solicitados, segundo a NBR 14762:2001, para soluções pré-concebidas.

Desenvolvido em linguagem Delphi®, o programa “PFF-TC-Calc/1®”, com tela inicial apresentada pela “Figura 4”, automatiza o “árido” procedimento normativo de determinação da resistência de elementos estruturais, de aço, constituídos por perfis formados a frio (chapa dobrada), quando submetidos à solicitações de cálculo de tração e/ou compressão.

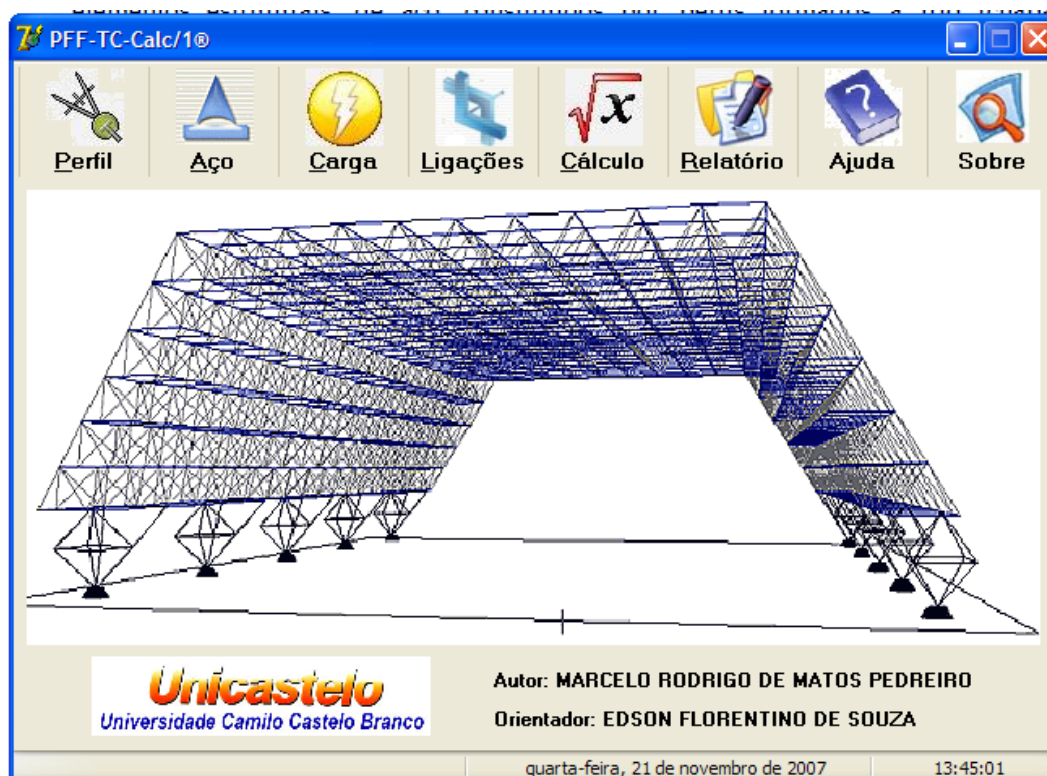


Figura 4 - Tela inicial do programa “PFF-TC-Calc/1®”

Em se tratando da utilização da norma brasileira NBR 14762:2001: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento, é válido salientar sua

associação paralela às referências normativas da também norma brasileira NBR 6355:2003: Perfis estruturais, de aço, formados a frio – Padronização. Neste ensejo, o “PFF-TC-Calc/1®” traz em suas rotinas todas as considerações normativas apresentadas pelas duas referências técnicas em questão, no que tange as aplicações ao qual se propõe.

Nas subseções seguintes serão apresentados os módulos de execução do programa.

3.1 Escolha do perfil

Segundo CARVALHO (2001) “na idéia principal dos PFF – a dobragem a frio de chapas – reside, pela simplicidade de sua produção, a grande vantagem desse tipo de perfil”. Se comparado ao projeto metálico de perfis laminados ou soldados, o dimensionamento em PFF confere ao projetista maior liberdade na opção de escolha de perfis. Enquanto que, naquele caso, a quantidade de perfis disponível é apenas a apresentada pela siderúrgica, neste o tamanho dos perfis é definido pelo projetista, uma vez que atenda aos requisitos da norma NBR 6355:2003.

No ícone “Perfil”, o “PFF-TC-Calc/1®” apresenta as seis opções de perfis simples apresentadas pela NBR 6355:2003, “Figura 5”; e calcula as características geométricas do perfil considerado a partir da especificação definida pelo usuário, “Figura 6”. Neste caso o “PFF-TC-Calc/1®” caracteriza-se por economia computacional, pois não necessita de um banco de dados que contenha os perfis e suas características geométricas.

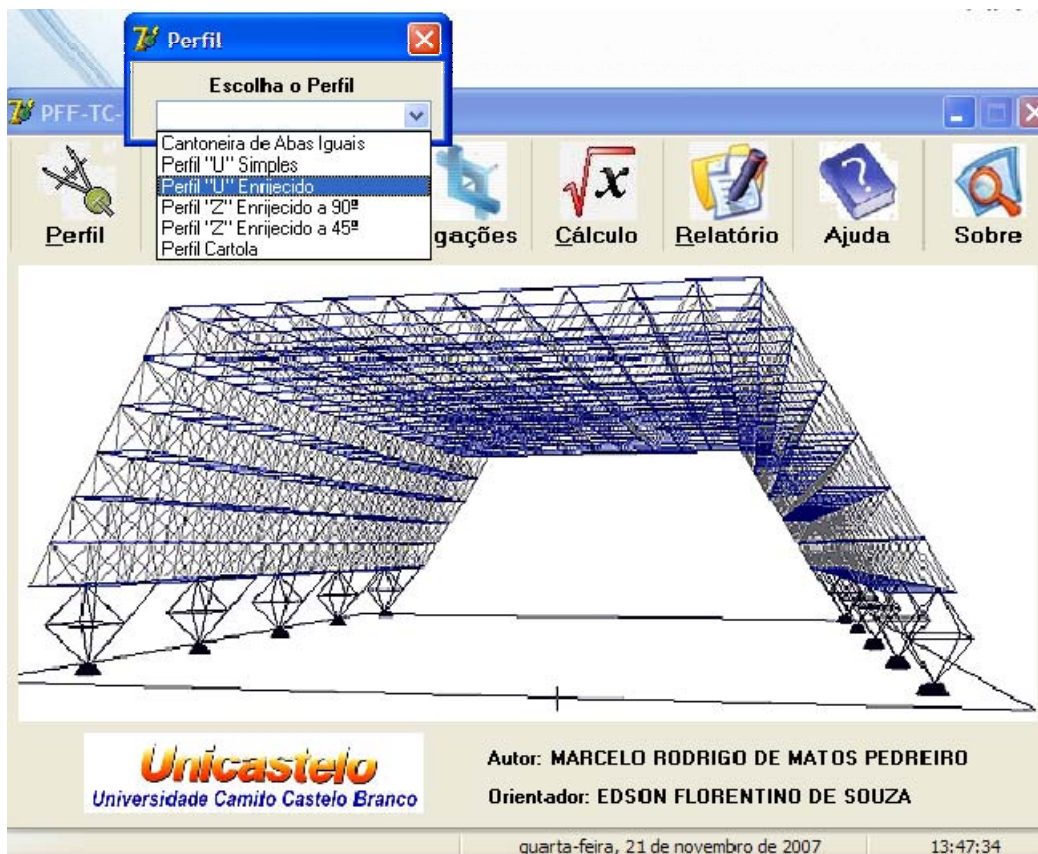


Figura 5 - Seleção do perfil a ser analisado.

Perfil

Escolha o Perfil
 Perfil "U" Enrijecido

Diagrama do perfil com dimensões: b_w , t_n , b_f , D .

b_w 200 mm
 b_f 75 mm
 D 50 mm
 t_n 6,30 mm

Designação
 Ue 200 X 75 X 50 X 6,30

peso(kg/m) 20,01 Área(cm²) 25,40

Dimensões

b_w (mm) 200,00 b_f (mm) 75,00 t_n (mm) 6,30
 D (mm) 50,00 r_i (mm) 9,45

Eixo X

I_x (cm⁴) 1391,43 W_x (cm³) 81,36 r_x (cm³) 7,40
 x_g (cm) 2,90 x_o (cm) 6,72

Eixo Y

I_y (cm⁴) 211,32 W_y (cm³) 10,57 r_y (cm) 2,88

I_t (cm⁴) 3,357 C_w (cm⁶) 27549,49 r_o (cm) 10,40

Figura 6 - Cálculo das características geométricas do perfil (Ue 200x75x50x6,3).

3.2 Tipo de aço estrutural

No ícone “Aço”, o “PFF-TC-Calc/1®” disponibiliza ao usuário a opção de seis tipos de aço de classificação estrutural, “Figura 7”. Ao selecionar um dos tipos disponíveis, o programa carrega as características mecânicas do aço em questão na rotina de cálculo.

Tipo de Aço

Escolha o Tipo de Aço

- ABNT MR250
- ABNT AR290
- ABNT AR345**
- ABNT AR-COR-345
- ASTM A-36
- ASTM A-572

Propriedades do Aço Estrutural

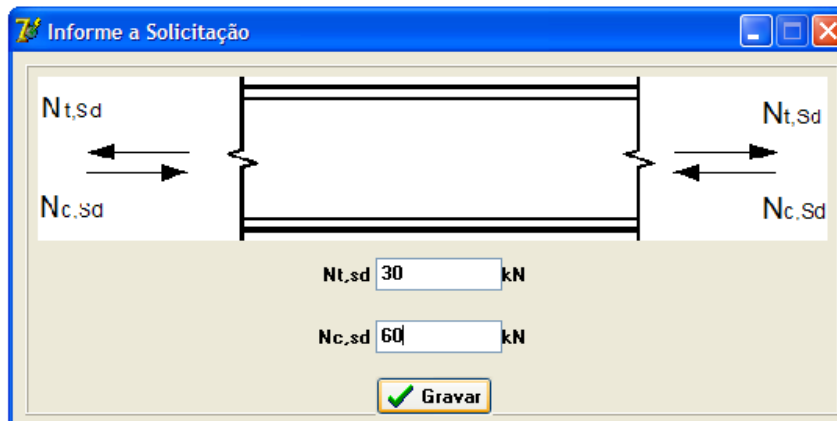
Tensão de Escoamento - f_y 345 MPa
 Tensão de Ruptura - f_u 450 MPa
 Módulo de Elasticidade - E 205000 MPa
 Coeficiente de Poisson 0,3

Figura 7 - Escolha do tipo de aço estrutural.

3.3 Solicitações de cálculo

Na janela denominada “Carga”, “Figura 8”, o “PFF-TC-Calc/1®” solicita que sejam informadas as duas solicitações axiais, em seus valores de cálculo, ao qual o perfil em análise está submetido.

É importante que o usuário defina os valores dos esforços solicitantes de cálculo ($N_{t,sd}$ e $N_{c,sd}$), respectivamente, esforços de tração e compressão de cálculo, segundo as recomendações de segurança.

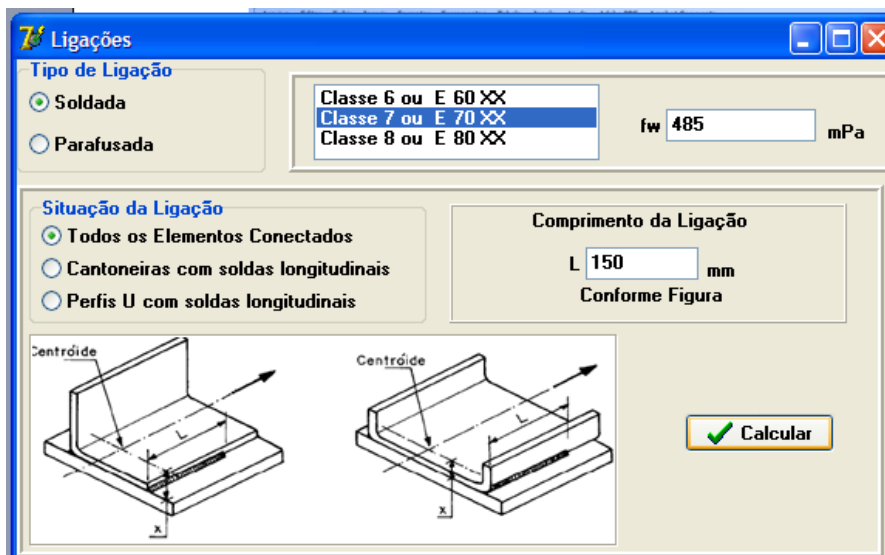


The dialog box titled "Informe a Solicitação" contains a diagram of a beam with tension ($N_{t,sd}$) and compression ($N_{c,sd}$) forces. Below the diagram, there are input fields for $N_{t,sd}$ (30 kN) and $N_{c,sd}$ (60 kN), and a "Gravar" button.

Figura 8 - Janela para entrada das solicitações de cálculo.

3.4 Ligações

Caso o perfil analisado esteja submetido a um esforço axial de tração ($N_{t,Sd}$) não nulo, o “PFF-TC-Calc/1®” abre a tela denominada “Ligações”, na qual serão definidos os parâmetros referentes à ligações soldadas ou parafusadas, envolvidos na determinação da resistência de cálculo do perfil à solicitação de tração, “Figura 9”, “Figura 10” e “Figura 11”.



The dialog box titled "Ligações" contains the following parameters:

- Tipo de Ligação:** Soldada, Parafusada
- Situação da Ligação:** Todos os Elementos Conectados, Cantoneiras com soldas longitudinais, Perfis U com soldas longitudinais
- Comprimento da Ligação:** L 150 mm, Conforme Figura
- Steel Classes:** Classe 6 ou E 60 XX, Classe 7 ou E 70 XX, Classe 8 ou E 80 XX
- Yield Strength:** f_w 485 mPa
- Buttons:** Calcula

Figura 9 - Parâmetros para ligações soldadas.

Ligações

Tipo de Ligação

Soldada

Parafusada

Diametro do Parafuso

dp 12,5 mm

Furo Padrão

ASTM A 307 - grau A
 ISO 898 - grau 4.6
 ASTM A325
 ASTM A354 (grau BD)
 ASTM 394 (tipo 0)
 ASTM A394 (tipos 1,2 e 3)
 ASTM A 449
 ASTM A 490
 ISO 7411 - grau 8.8
 ISO 7411 - grau 10.9

Tipo: Comum

fup 415 mPa

Cálculo de An Definição de Ct

Cálculo do Valor de An (Todas as Dimensões em Milímetros)

*Número de Parafusos

L1 - Linha de Ruptura com segmento inclinado.

L2 - Linha de Ruptura perpendicular a solicitação.

Calcular

Figura 10 - Parâmetros para ligações parafusadas.

Ligações

Tipo de Ligação

Soldada

Parafusada

Diametro do Parafuso

dp 12,5 mm

Furo Padrão

ASTM A 307 - grau A
 ISO 898 - grau 4.6
 ASTM A325
 ASTM A354 (grau BD)
 ASTM 394 (tipo 0)
 ASTM A394 (tipos 1,2 e 3)
 ASTM A 449
 ASTM A 490
 ISO 7411 - grau 8.8
 ISO 7411 - grau 10.9

Tipo: Comum

fup 415 mPa

Cálculo de An Definição de Ct

Todos os elementos conectados, com dois ou mais parafusos na direcao da solicitacao

Cantoneiras com dois ou mais parafusos na direcao da solicitacao

Perfis U com dois ou mais parafusos na direcao da solicitacao

Todos os parafusos contidos em uma única secao transversal

Comprimento da Ligação

L 150 mm

Conforme Figura

Calcular

Figura 11 - Parâmetros para ligações parafusadas.

3.5 Cálculo

Finalmente, o “PFF-TC-Calc/1®” conclui a avaliação das resistências de cálculo do perfil na janela “Calcular”, “Figura 12”. Uma atenção especial deve ser dada na informação dos

parâmetros L_xK_x e L_yK_y , os quais referem-se ao comprimento de flambagem do perfil; o que depende, portanto, da vinculação do elemento em questão na estrutura.

The screenshot shows a software window titled 'Calcular' with a blue title bar. The interface is divided into several sections:

- Dados do Perfil:** Ue 200 X 75 X 50 X 6,30
- Dados do Carregamento:** Ntsd 30 kN, Ncsd 60 kN
- Dados do Aço:** AR 345
- Comprimento de Flambagem:** Lx.Kx 250 cm, Ly.Ky 250 cm. Below this is the text 'Esbeltez Ok!'.
- Resultados de Cálculo:** Ntrd 796,6438658 kN, Ncrd 411,4512759 kN. Below this is the text 'Elemento OK!'.

In the center of the 'Resultados de Cálculo' section, there is a button with a red square icon containing a white 'x' and the text 'Calcular'.

Figura 12 - Resistências de cálculo do perfil na situação de projeto considerada.

Os esforços resistentes do elemento, com base nas referências normativas da norma NBR 14762:2001, N_t, R_d e N_c, R_d são então apresentados, juntamente com o “status de segurança” do elemento frente às solicitações aos quais o mesmo está submetido.

3.6 Relatório

O “PFF-TC-Calc/1®” gera, com a ativação do ícone “Relatório”, um documento no Microsoft Word®, contendo toda a memória de cálculo envolvida na análise do elemento.

Nesse arquivo são impressos detalhes pormenorizados relativos à: (i) características Geométricas do PFF, segundo a NBR 6355:2003, (ii) propriedades mecânicas do aço estrutural escolhido; (iii) as solicitações de cálculo no elemento analisado; e, (iv) força normal de compressão resistente de cálculo e força normal de tração resistente de cálculo obtidas, segundo a NBR 14762:2001.

Com relação à força normal resistente de cálculo, o relatório ilustra ainda, aspectos relativos à força normal de flambagem elástica; aos parâmetros de flambagem global por flexão, torção ou flexo-torção; aos parâmetros de flambagem local: redução da resistência e determinação da área efetiva; e, ainda, a verificação do limite de esbeltez do perfil em questão.

Ressalta-se aqui a vantagem da ferramenta como um aplicativo de apoio ao ensino de Estruturas Metálicas, com o qual se pode, analisar todas as considerações desenvolvidas no cálculo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No projeto de estruturas metálicas, o dimensionamento difere-se um pouco do procedimento adotado para sistemas estruturais clássicos como Concreto Armado, Concreto Protendido e Madeira, nos quais, a partir de uma solicitação (resultante de uma combinação de ações) pode-se chegar à definição dos elementos.

No caso dos elementos estruturais metálicos, desde a NBR 8800, as recomendações para o cálculo estrutural consistem de cálculos bastante onerosos e de aspectos interativos, onde as características do elemento em questão, na maioria das operações, é um parâmetro utilizado.

Com o advento da NBR 14762/2001, a característica das equações reforça este teor. Desta maneira o dimensionamento assume o procedimento de verificação das condições de segurança de um perfil, e, em caso negativo, sua substituição e repetição dos cálculos.

Com vistas à formação de engenheiros, o “PFF-TC-Calc/1®”, consiste em um instrumento didático (“Etool”) a integrar a metodologia de ensino de aulas interativas na disciplina “Estruturas Metálicas”, oferecida pelo curso de Engenharia Civil da FET/UNICASTELO, nas aulas que abordem o dimensionamento de elementos de perfis formados a frio axialmente solicitados.

Considerando a densidade de considerações quanto aos aspectos normativos referentes ao dimensionamento desses elementos, a utilização deste recurso didático amplia a possibilidade de avaliações de casos em sala de aula, dando ao discente ainda, a possibilidade de acompanhar, através do aplicativo, o sucesso de sua análise no desenvolvimento de exercícios teórico-práticos. Deve-se ressaltar também a possibilidade de comparar experimentalmente os resultados apresentados pelo programa nas aulas práticas.

Tratando dos aspectos epistemológicos da formação em engenharia, é preciso entender que a utilização de recursos computacionais deve ser agregada ao processo educacional e não substituir totalmente as metodologias clássicas de abordagem dos temas. No caso específico da disciplina de “Estruturas Metálicas” o desenvolvimento da análise estrutural via processo analítico manual, por mais árido e oneroso que seja, deve ser contemplado para que se possa elencar, e sobremaneira dirimir, as eventuais dúvidas que porventura tenham os alunos.

Objetiva-se que sejam inseridos nas versões futuras do “PFF-TC-Calc/1®”, objeto de próximos projetos de Iniciação Científica, o dimensionamento de elementos submetidos a demais solicitações, além da ampliação da disponibilidade de perfis, com a consideração de elementos compostos. Sugere-se ainda, que em versões mais sofisticadas, o programa seja capaz de analisar sistemas reticulados de aço, permitir o seu dimensionamento, utilizando-se dos perfis mais utilizados – laminados, soldados e formados a frio – no nosso mercado.

Agradecimentos

À Universidade Camilo Castelo Branco, pelo apoio prestado, na forma de incentivo profissional e financeiro, para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 8800: **Projetos e execução de estruturas de aço edifícios**. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT. NBR 14762: **Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas de Perfis Formados a Frio**. Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

ABNT. NBR 6355: **Perfis Estruturais de Aço Formado a Frio**. Rio de Janeiro, 2002.

DAVIES, J. M. (2000) - *Light Gauge Steel Framing Systems for Low-rise Construction*. II Encontro Nacional de Construção Metálica e Mista, Coimbra, Portugal.

YU, W. W. (1985). **Cold-Formed Steel Design**, second edition, John Wiley & Sons. Inc., New York, USA.

AUTOMATES THE EVALUATION PROCESS OF THE RESISTING LOADS OF COLD-FORMED STEEL MEMBERS AXIALLY DEMANDED ACCORDING TO NBR 14762:2000 AND NBR 6355:2003

***Abstract:** During this work a computer program which automates the evaluation process of the resisting loads of cold-formed steel members (fold-plate members) axially demanded according to the recommended procedures of the NBR 14762:2000 and standardization of the NBR 6355:2003. As the manual scaling assumes the procedure of verification of the safety conditions of a member and in negative case, its calculations, substitution and repetition, the program makes the scaling of a metal element to a truss bar, such as a less difficult work to the metallic structure engineer, Besides this the program will allow the metallic structure student, offered by the civil engineering course of FET/UNICASTELO, the development of more practical examples, since the process size the time better.*

***Key-words:** Metallic Structures, Cold-formed steel members, Structural Calculus, Plane Truss.*