

Programa computacional para verificação de perfil I laminado ou soldado conforme NBR 8800/2008

Computational program for verify profile I laminated or welded in accordance with NBR 8800/2008

Alan Rodrigo Simsen(1); Alana Francischett Pitol(2); Odorico Konrad(3); Rodrigo Spinelli(4); Rodrigo Bertoldi(5)

1 Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil.

E-mail: simsen.alan@gmail.com

2 Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil.

E-mail: alana.pitol@universo.univates.br

3 Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil.

E-mail: okonrad@univates.br

4 Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil.

E-mail: rsinelli@univates.br

5 Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil.

E-mail: rodrigo@planoconcreto.com.br

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 7, n. 1, p. 1-19, Janeiro-Junho 2020 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Maio 03, 2019; Aceito: Maio 05, 2019]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2020.v7i1.3305>

Endereço correspondente / Correspondence address

Alan Rodrigo Simsen

Avenida Benjamin Constant, 760, sala 306, centro,

Lajeado/RS, Brasil.

CEP: 95.900-106

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor: Richard Thomas Lermen

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

Devido ao grande número de verificações necessárias para o dimensionamento de perfis metálicos, vem a necessidade da elaboração de um programa computacional gratuito e com finalidade educacional para verificar o dimensionamento de perfis metálicos do tipo I, laminados e soldados, submetidos a esforços de tração, compressão, flexão, cisalhamento, flexo-tração e flexo-compressão, tendo como base a NBR 8800/2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. O programa foi elaborado utilizando a linguagem de programação Visual Basic, que possibilitou a criação da interface gráfica, prática e acessível para o usuário. O programa determina, a partir dos dados informados pelo usuário, os esforços resistentes de cada perfil e os compara com os esforços solicitantes também informados pelo usuário. Por fim, o código conta, com uma ferramenta de informação de erros caso algum valor resultante encontre-se em desacordo com a norma em questão.

Palavras-chave: Estrutura de Aço. Perfil Laminado. Perfil Soldado. Programa de verificação.

Abstract

Due to the large number of evaluations required for steel profiles design it is necessary to develop a free and educational computational program to verify the dimensions of type I steel profiles, laminated and welded, subjected to tensile and compressive stresses, based on NBR 8800/2008 - design of steel and composite structures for buildings. A computational program has been developed using the Visual Basic programming language, which allowed the construction of a practical and user-friendly graphical interface. This program determines the load bearing capacity of each profile, through data informed by the user, and compares them to the applied load which is also informed by the user. Finally, the codes has an error reporting tool to account for values in disagreement with the standard rule in question.

Keywords: Steel structure. Laminated profile. Welded profile. Verification program.

1 Introdução

A busca em elevar o setor da construção civil a um patamar mais industrializado vem crescendo nos últimos anos, esta busca consiste em desenvolver algumas técnicas construtivas a fim de aperfeiçoar o produto final. Desta forma são necessárias mudanças no processo, buscando a utilização de sistemas com maior tecnologia aplicada, aumentando consideravelmente a produtividade do setor (OLIVEIRA, 2013).

A utilização de sistemas com maior tecnologia aplicada aumenta consideravelmente a produtividade do setor. As estruturas de aço auxiliam nesta tecnologia, pois busca-se com maior planejamento e maior controle de produção, a incorporação de tecnologia no seu processo de fabricação (SABBATINI, 1989).

As estruturas metálicas, atualmente no Brasil, estão se consolidando, observa-se isso através do crescimento contínuo da utilização dessa tecnologia, permitido pelo aumento do conhecimento dos profissionais da área, variedade de produtos oferecidos e as vantagens do sistema, como soluções arrojadas, alta qualidade e grande eficiência (GUARNIER, 2009).

A fabricação de estruturas metálicas acontece por meio de processos de fabricação industrial, que são caracterizados pela racionalização. A eficiência no processo de fabricação e montagem fica condicionada ao bom dimensionamento e detalhamento durante a fase de projeto, a partir disso é possível se usufruir das vantagens do sistema (BELLEI; PINHO; PINHO, 2004).

Perfis de aço do tipo I estão normalmente submetidos a esforços de tração, compressão, flexão, cisalhamento ou a interação de dois ou mais desses esforços. Estes podem ser do tipo laminado ou soldado, no primeiro caso o perfil vem definido da siderúrgica e no segundo, o mesmo necessita do trabalho de solda de chapas metálicas. Essas chapas podem ser planas ou formadas a frio no formato de “U” para composição da peça como um todo. O dimensionamento dos perfis laminados e soldados formados por chapas planas é contemplado pela NBR 8800 (ABNT, 2008), já o dimensionamento do composto por dois perfis “U” formados a frio, é abordado pela NBR 14762 (ABNT, 2010).

O dimensionamento de perfis metálicos possui um grande número de verificações a serem realizadas. Torna-se necessário, assim, a sistematização dos processos para análise dos perfis, o que torna viável a elaboração de um programa computacional que verifica, a partir de parâmetros fornecidos, o completo dimensionamento de um perfil submetido a diversos tipos de esforços. Desta forma elaborou-se um programa computacional que executa todas as verificações a serem realizadas nos perfis I laminados e soldados formados por chapas planas, a partir das características geométricas e solicitações de projeto indicados, apresentando pôr fim a resistência e o aproveitamento da mesma no perfil, limitando o erro do usuário com indicação de mensagens de erro, apresentando ainda, um relatório de verificações detalhado. Essa

ferramenta de relatório se torna muito útil para a verificação do cálculo executado pelo programa, tornando acessível ao usuário toda rotina de verificações realizada.

1.1 Objetivos

Elaborar um programa computacional interativo que auxilie no dimensionamento de perfis metálicos do tipo I laminados e soldados, utilizando a linguagem de programação *Visual Basic*.

Auxiliar profissionais e estudantes da área de estruturas metálicas, a realizar a verificação do perfil através de um memorial de cálculo detalhado para cada situação em análise.

Apresentar uma solução que facilite a obtenção de resultados, onde o usuário tem acesso a uma ferramenta automatizada que verifica todas as etapas de dimensionamento apresentadas pela NBR 8800 (ABNT, 2008).

Tornar possível a verificação de uma grande quantidade de perfis do tipo I em um curto intervalo de tempo, levando o usuário a entender quais as características que condicionam o dimensionamento em cada caso analisado.

2 Referencial teórico

A NBR 8800 (ABNT, 2008) estabelece que para perfis do tipo I soldados ou laminados submetidos à tração, sejam executadas duas verificações, escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, essa somente para perfis que contenham furos, caso contrário a primeira verificação irá prevalecer no dimensionamento. As barras comprimidas podem ser levadas ao colapso por três maneiras diferentes ou pela interação entre elas, por escoamento, por flambagem global ou por flambagem local.

O colapso por escoamento ocorre quando a tensão atuante atingir a tensão de escoamento, este é observado em perfis muito curtos com paredes espessas. Pelas características robustas do perfil, o mesmo atinge a tensão de escoamento sem flambar, vale ressaltar que este tipo de ruptura é difícil de ocorrer em termos práticos, pois em estruturas metálicas comumente se trabalha com perfis esbeltos (PFEIL, 2008).

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), o colapso por flambagem global em perfis que possuem dupla simetria, irá ocorrer por flexão. A mesma norma ainda aborda que deve ser determinado o índice de esbeltez limite para barras comprimidas, índice este que não deve ser ultrapassado para restrição da flambagem do perfil.

A flambagem local ocorre quando a mesa ou a alma, ou os dois elementos do perfil, flambam localmente, esse tipo de flambagem ocorre somente em perfis com índice de esbeltez baixo, baixa relação entre o comprimento livre de flambagem e dimensões geométricas do perfil e no caso de perfis curtos que possuam os elementos

constituintes muito finos (PFEIL, 2009). A determinação de resistência de barras fletidas determina-se através de dois critérios, o primeiro deles no estado limite último onde se determina o momento resistente de cálculo, (MRd) e força cortante resistente de cálculo (VRd), o segundo no estado limite de serviço, onde ocorre a verificação da flecha máxima do elemento (fmax), esse não abordado neste estudo NBR 8800 (ABNT, 2008).

Segundo o Anexo G da NBR 8800 (ABNT, 2008), o momento fletor resistente de cálculo, para perfis do tipo “I” fletidos em torno do eixo de maior inércia, deve ser determinado levando em consideração os estados limites: FLT – Flambagem Lateral com Torção; FLM – Flambagem Lateral da mesa comprimida ou FLA – Flambagem Local da Alma. O mesmo anexo determina que o momento fletor resistente de cálculo, para perfis do tipo “I” fletidos em torno do eixo de menor inércia, deve ser determinado levando em consideração o estado limite de flambagem lateral da mesa.

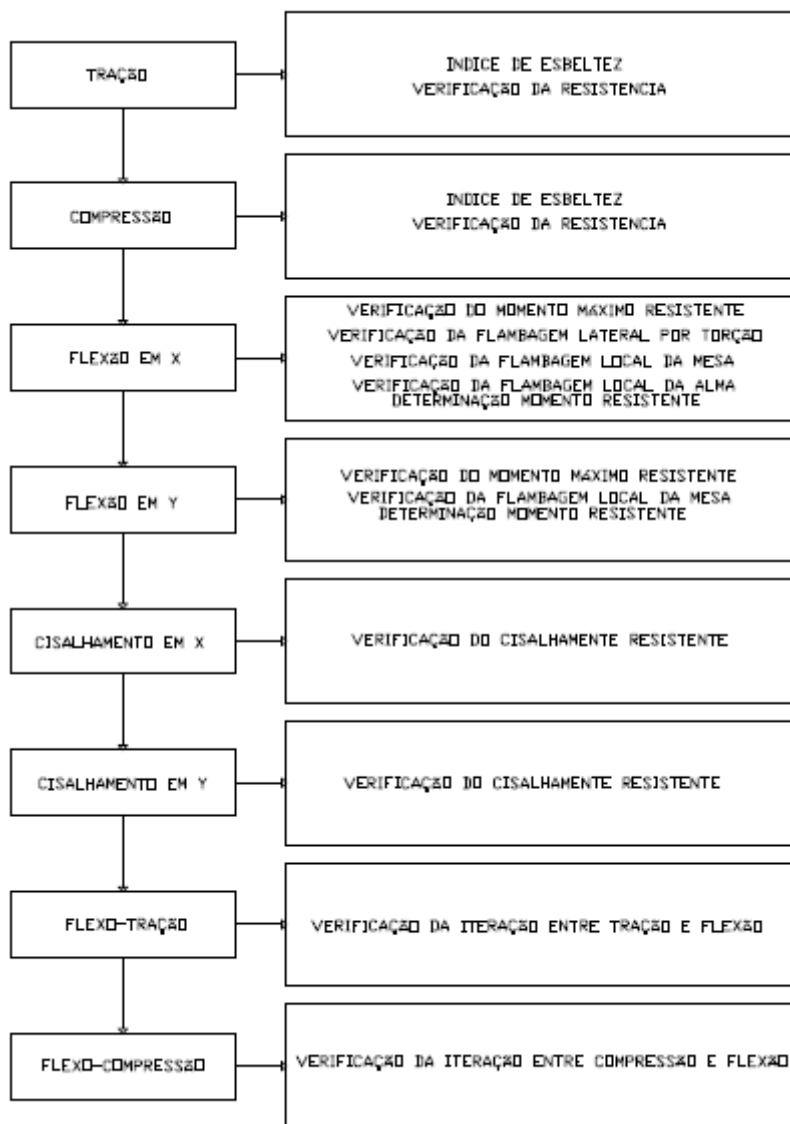
A NBR 8800 (ABNT, 2008) também determina que a força resistente de cisalhamento deva ser determinada considerando-se os estados limites de escoamento e flambagem por cisalhamento. A mesma ainda determina que os perfis devem ser verificados quando submetidos a combinação de dois esforços, sendo eles a flexão combinada com esforço axial de tração ou de compressão.

O fluxograma básico do roteiro de dimensionamento de um perfil segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008) pode ser visualizado na Figura 1, onde são descritos em ordem os esforços a serem verificados, bem como os principais requisitos para cada tipo de esforço aplicado ao perfil.

Para verificar se o dimensionamento do perfil atende os critérios do estado limite de serviço, deve ser determinada a flecha máxima de serviço, essa sendo obrigatoriamente menor que a flecha máxima admissível indicada pela tabela C1 da NBR 8800 (ABNT, 2008). A determinação da flecha máxima pode ser realizada com auxílio de software de análise estrutural, que possuem a possibilidade da verificação da flecha máxima de serviço que determinado elemento está submetido conforme seu carregamento, momento de inércia, módulo de elasticidade e vinculações (QUEIROS, 2007).

3 Materiais e Métodos

Para iniciar o programa de verificação perfis metálicos do tipo I laminados e soldados, inicialmente utilizou-se o “Microsoft Office Excel”, desenvolvido e comercializado pela Microsoft, onde foram desenvolvidas planilhas de verificação dos perfis conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008). Através do mesmo programa automatizou-se a inserção e obtenção de dados dentro de planilhas com linguagem de programação *Visual Basic*, inserindo e apresentando esses dados através de um *layout* desenvolvido especificamente para o programa, fazendo com que o usuário final não tenha acesso

Figura 1 – Fluxograma de dimensionamento perfil I

a planilha de verificações, não podendo alterar a mesma, evitando dessa forma a utilização indevida e inexperiente.

Para a elaboração dos componentes gráficos que constituem o *layout* do programa utilizou-se o programa “AutoCad”, desenvolvido e comercializado pela Autodesk. E para obter a comprovação e comparação dos resultados obtidos pelo programa desenvolvido utilizou-se o programa “mCalcPerfis”, desenvolvido e comercializado pela Stabile Engenharia.

Como o principal documento de referência para dimensionamento de perfis I é a NBR 8800 (ABNT, 2008), a mesma foi estudada de modo a criar uma sequência lógica de quais verificações devem ser realizadas no perfil e qual a ordem em que as mesmas devem ocorrer. A verificação segue quase que exclusivamente o artigo 5 e os anexos E, F e G da referida norma. Na elaboração deste trabalho, não foi abordado o anexo H da norma supracitada, desta forma o programa não faz a verificação de perfis que possuem a alma

esbelta segundo critérios normativos. Outra verificação não realizada pelo programa é o perfil em estado limite de serviço, essa pode ser facilmente realizada em programas de análise estrutural disponíveis de forma gratuita, como por exemplo o FTOOL.

Com a sequência de verificação definida, a mesma foi lançada dentro de uma planilha do programa Excel, onde todas as condições foram automatizadas, de modo que fosse apresentado o resultado final com as resistências do perfil analisado, utilizando somente os lançamentos dos dados iniciais pelo usuário, evitando o uso de qualquer cálculo manual de verificação do perfil. Durante a elaboração do programa se fez necessário a criação de mensagens de erros a serem emitidas caso o perfil encontre-se em desacordo com a norma ou ainda o usuário tenha atribuído algum dado inconsistente, para que através destas, seja realizada a comunicação entre o usuário e a linha de programação. Com as planilhas prontas, desenvolveu-se o *layout* e elaboração do código de cálculo do programa, de maneira que o usuário informe os dados requisitados e o mesmo retorne, para o usuário, os resultados obtidos para aqueles dados informados.

Com o programa funcionando, realizaram-se testes, comparando os resultados do programa com exercícios resolvidos em livros e com programas computacionais disponíveis no mercado. A comparação foi realizada fazendo verificações de livros no programa criado e em programas de mercado, admitindo se diferenças menores que 1 % ou oriunda de arredondamentos. Desta forma ficou validado o funcionamento e assertividade do programa.

Depois de concluídos os testes de funcionamento, as devidas adaptações foram realizadas, observadas no *layout* do programa, fazendo com que a aparência se tornasse agradável e funcional de modo que o usuário possa ver em desenhos, quais informações o programa solicita, evitando a necessidade de verificar em bibliografias qual o significado de cada dado.

Para finalizar, compôs-se um memorial de cálculo detalhado, onde são apresentadas todas as verificações realizadas pelo programa, a citar parâmetros de entrada e resultados obtidos. Durante a composição do memorial, procurou-se esclarecer a verificação realizada pelo programa e parâmetros de cálculo, em cada etapa, apresentando de forma transparente ao usuário todo processo realizado, e, a partir de quais dados e verificações foram obtidos os resultados. A elaboração desse documento por um programa gratuito, auxilia o aprendizado em meios acadêmicos, visando sua utilização em paralelo aos cálculos manuais.

4 Resultados e Discussões

O estudo realizado resultou ao programa denominado VEMAS (Verificação de estrutura metálica Alan Simsen), esse realiza a verificação do dimensionamento

de perfil I soldado ou laminado. Montou-se um compilado onde é possível realizar a instalação do programa, de modo que os arquivos sejam copiados para o seu computador.

A instalação é simples, é indicado o diretório onde serão salvos os arquivos do programa.

O programa criará uma pasta chamada “VEMAS” dentro do diretório “C:\”, onde ficarão armazenados os arquivos necessários para o funcionamento do programa. Também existirá um atalho criado na área de trabalho denominado “VEMAS”, onde através de um duplo clique o usuário iniciará o programa.

Para poder ser instalado o programa “Vemas” no computador, alguns requisitos devem ser seguidos. Necessita-se a instalação do Windows 7 e o pacote *office 2007* ou superiores, para o programa poder funcionar normalmente no computador que for instalado.

4.1 Utilização do programa

O programa possui etapas, onde, em algumas são requisitados dados e em outras são retornadas as análises do perfil. Por fim, uma janela será exibida, onde é possível verificar os resultados gerados na verificação do perfil, além da comparação com os valores das solicitações informados anteriormente.

O programa conta com figuras para indicação e compreensão dos dados solicitados, porém nem todos dados conseguem ser expressos por figuras, dessa forma criou-se a ferramenta de legenda, onde caso o usuário não saiba o que informar em determinado campo, basta posicionar o cursor do mouse sobre o campo e aguardar, será aberta uma legenda com a indicação do que deve ser informado, o mesmo acontece se o usuário posicionar o cursor sobre os botões.

O programa está baseado numa rotina onde são fornecidos dados pelo usuário e o mesmo retorna os resultados obtidos com as verificações pré-programadas, devem ser observados os seguintes passos:

Passo 1: neste ocorre o fornecimento dos dados do perfil a ser verificado, onde na janela “Dimensionamento”, Figura 2, nos campos disponíveis, são informados os dados requisitados nas unidades de medida descritas ao lado. No final do lançamento ocorre a verificação, por parte do usuário, dos dados e posterior confirmação dos mesmos clicando sobre o botão “INFORMAR DADOS”, item 6.

Figura 2 – Dimensionamento

Na Figura 2 é possível analisar a janela inicial do programa, denominada “Dimensionamento”, nessa é possível identificar:

- ♦ Item 1: primeira aba localizada na parte superior esquerda denominada “Perfil I - Laminado”, essa aba permite o acesso a janela onde são informados os dados respectivos a verificação de perfis I laminado.
- ♦ Item 2: segunda aba localizada na parte superior esquerda denominada “Perfil I - Soldado”, essa aba permite o acesso a janela onde são informados os dados respectivos a verificação de perfis I soldados
- ♦ Item 3: figura localizada na parte superior direita, nessa é apresentada a imagem de um perfil onde é indicado a que cada dado corresponde, bem como os eixos analisados, evitando dessa forma que o usuário necessite verificar em alguma bibliografia o que cada dado indica.
- ♦ Item 4: na parte inferior direita são apresentados os valores utilizados como padrão pelo programa, sendo eles módulo de elasticidade do aço, módulo de elasticidade transversal e coeficiente de segurança do material.
- ♦ Item 5: na parte intermediária a esquerda, são apresentados vários campos com a indicação de qual dado e em qual unidade o mesmo deve ser informado pelo usuário. Para inserir dados, pode ser usado um simples clique na tecla “ENTER” ou através da utilização do mouse.

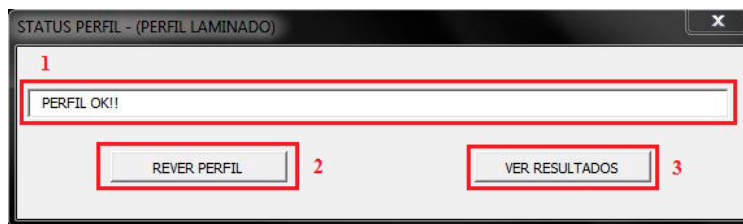
Passo 2: neste devem ser fornecidos dados de projeto, obtidos na análise da estrutura, onde na janela “Dados de projeto”, Figura 3, nos campos disponíveis, são informados os dados requisitados nas unidades de medida descritas ao lado. No final do lançamento ocorre a verificação, por parte do usuário, dos dados e posterior confirmação dos mesmos clicando sobre o botão “INFORMAR DADOS”, item 2. A Figura 3 apresenta a janela seguinte, denominada “Dados de Projeto”.

Figura 3 – Dados de Projeto.

A imagem mostra a janela de software intitulada "DADOS DE PROJETO - (PERFIL LAMINADO)". Ela contém uma lista de campos de entrada, cada um com uma etiqueta à esquerda, um campo de texto no meio e uma unidade de medida à direita. Os campos são: Nt,Sd (1500, kg), Nc,Sd (4500, kg), Mx,Sd (8000, kg.m), My,Sd (3000, kg.m), Cb (1), Vx,Sd (1000, kg), Vy,Sd (2000, kg), Kx (1), Lx (600, cm), Ky (1), Ly (300, cm), Kz (1), Lz (300, cm) e Lb (300, cm). Um retângulo vermelho desenhado sobre a imagem engloba todos esses campos e é rotulado com o número "1" no canto superior direito. Abaixo da lista de campos, há um botão retangular rotulado "INFORMAR DADOS", que também é circulado por um retângulo vermelho e rotulado com o número "2" no canto inferior direito.

Da mesma forma para os dois tipos de perfil, é apresentado o item 1, na parte intermediária são apresentados vários campos com a indicação de qual dado de projeto, resultante da análise estrutural do mesmo, e em qual unidade o mesmo deve ser informado pelo usuário. Para inserir dados pode ser usado um simples clique na tecla “ENTER” ou através da utilização do mouse.

Passo 3: neste ocorre a comunicação do programa com o usuário, onde na janela “Status do perfil”, Figura 4, caso o perfil não atenda a alguma das verificações, são apresentados os erros do mesmo e se o perfil estiver atendendo todas verificações, aparecerá a mensagem de confirmação para o usuário. Nesta janela o usuário pode voltar à janela inicial do programa para alterar algum valor, através do botão “REVER PERFIL”, item 2, ou poderá ir para a janela de resultados através do botão “VER RESULTADOS”, item 3. Na Figura 4 apresenta-se uma janela extremamente importante, pois é nela que ocorre a comunicação entre o programa e o usuário, esta é denominada “Status do Perfil”.

Figura 4 – Status Perfil

Para os dois tipos de perfil é possível observar o item 1, no centro da janela onde está o campo que aparecem as mensagens de erro para o usuário, a partir dessa mensagem o usuário define o que será necessário alterar no perfil.

Mesmo que o perfil possua algum erro, o botão “VER RESULTADOS” pode ser acessado pelo usuário, dessa forma são apresentados os resultados obtidos com os dados informados. Observa-se em quais verificações o perfil não está atendendo a normativa. Ainda é informado o aproveitamento atual do perfil em cada tipo de esforço que está submetido, podendo assim fazer uma escolha adequada de qual deva ser utilizado na próxima verificação.

Passo 4: neste ocorre a apresentação dos resultados ao usuário, onde na janela “Resultados”, Figura 5, verifica-se as solicitações informadas ao programa, as resistências do perfil em cada uma das verificações e uma comparação percentual entre estes valores. Nesta janela o usuário pode voltar à janela inicial do programa para alterar algum valor, através do botão “REVER PERFIL”. Imprimir um memorial de cálculo, através do botão “IMPRIMIR RELATÓRIO” ou poderá ir para a janela inicial para uma nova verificação através do botão “NOVO DIMENSIONAMENTO”. Na Figura 5 apresenta-se a janela de resultados, denominada “Resultados”.

Para os dois tipos de perfil é possível observar:

- ♦ Item 1: na parte superior à esquerda, são informados os esforços solicitantes de projeto, informados pelo usuário na janela de “Dados de projeto”.
- ♦ Item 2: na parte superior intermediária, são informados os esforços resistentes de cálculo, conforme as verificações feitas pelo programa.
- ♦ Item 3: na parte superior direita estão os campos onde informa-se o aproveitamento do perfil em cada tipo de esforço de cálculo a que está submetido, podendo o usuário verificar em quais esforços o perfil atende ou não, as verificações da norma.
- ♦ Item 4: na parte inferior direita, o primeiro botão de cima para baixo, “REVER PERFIL”, onde, caso o perfil não atenda as solicitações a que está submetido, o usuário pode voltar para a primeira janela, onde são informadas as características do perfil.
- ♦ Item 5: na parte inferior direita o segundo botão, de cima para baixo, é o “IMPRIMIR RELATÓRIO”, onde, através deste, o usuário pode gerar um relatório de cálculo que será impresso direto na impressora definida como impressora padrão do *Windows*.

Figura 5 – Resultados

Item	Value	Unit	Percentage
Nt,Sd	1500		
Nc,Sd	4500		
Mx,Sd	8000		
My,Sd	3000		
Vx,Sd	1000		
Vy,Sd	2000		
Nt,Rd	203236,36	kg	0,738 %
Nc,Rd	127552,82	kg	3,528 %
Mx,Rd	23205,24	kg.m	34,475 %
My,Rd	5326,32	kg.m	56,324 %
Vx,Rd	74655,49	kg	1,339 %
Vy,Rd	48099,27	kg	4,158 %
FLEXO TRAÇÃO			91,168 %
FLEXO COMPRESSÃO			92,563 %

VEMAS
 Programa desenvolvido por:
 Alan Rodrigo Simsen
 Trabalho de conclusão de curso de Eng. Civil
 2014 B
 Orientador: Rodrigo Bertoldi
 Contato: vemassoftware@gmail.com
 Todos direitos reservados.

REVER PERFIL
 IMPRIMIR RELATÓRIO
 NOVO DIMENSIONAMENTO

Os resultados obtidos através da utilização do programa são de responsabilidade do usuário.

- ♦ Item 6: na parte inferior direita o último botão, de cima para baixo, “NOVO DIMENSIONAMENTO”, onde o programa permite voltar para a primeira janela, em que são informadas as características do perfil.

4.2 Impressão de relatório

Um ponto muito importante no programa é a geração de um memorial de cálculo detalhado de todas as verificações que o mesmo realiza. Acionando o botão “IMPRIMIR RELATÓRIO” da janela “Resultados”, Figura 5, o relatório é enviado diretamente para a impressão na impressora configurada como impressora padrão do *Windows*.

O usuário pode gerar esse relatório no formato PDF (*Portable Document Format*), para tanto, deve ter instalado em seu computador uma impressora virtual que gere arquivos nesse formato e esta deve estar configurada como impressora padrão do *Windows*. Dessa forma, no momento em que o arquivo é impresso, a impressora virtual requisitará ao usuário onde o mesmo deseja salvar o arquivo com o relatório.

4.3 Mensagem de erro

A criação de mensagens de erro tornou-se necessária para indicar ao usuário os parâmetros de verificação de resistência ou características geométricas, que não são atendidas durante a utilização, funcionando como ferramenta de comunicação entre o programa e o usuário.

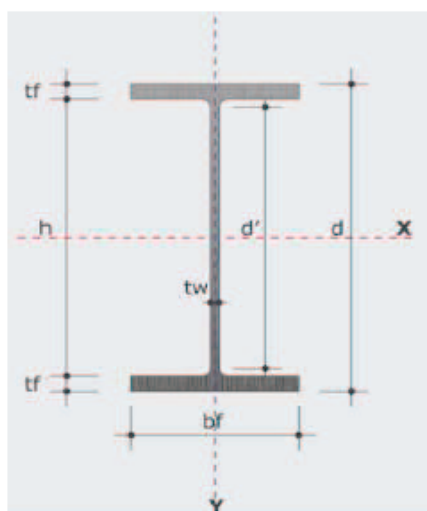
Dessa forma foram criadas mensagens de erro divididas em 4 grupos principais, que indicam o não atendimento das características geométricas do perfil em relação a sua utilização, que indicam o não atendimento ao esforço solicitante, que indicam o enquadramento no Anexo H na NBR 8800 (ABNT, 2008) e que indica o atendimento a todas verificações. Através das mensagens o usuário pode identificar em qual parâmetro precisa intervir, de forma que o perfil atenda as verificações.

4.4 Memorial de Cálculo

Com o programa é possível gerar um memorial de cálculo detalhado referente a perfis I laminados ou soldados. Nas Figuras 6 e 7 é possível visualizar a página inicial deste memorial, o mesmo completo possui 9 páginas. A Figura 6 é o memorial de cálculo de perfil laminado, demonstrando quando possui erros, e na Figura 7 é o memorial de cálculo de um perfil soldado que possui todos os resultados Ok.

Figura 6 – Memorial de cálculo perfil laminado

MEMORIAL DE CÁLCULO



Dados do PERFIL					
A_g	42,10	cm ²	γ_{a1}	1,10	
b_f	12,70	cm	E_y	3450	kg/cm ²
t_f	0,85	cm	E	2000000	kg/cm ²
d	34,90	cm	G	770000	kg/cm ²
t_w	0,58	cm	I	9,15	cm ⁴
d'	30,8	cm	r_x	14,09	cm
I_x	8358,00	cm ⁴	r_y	2,63	cm
I_y	291,00	cm ⁴			

Dados de PROJETO					
L_x	600	cm	L_b	300	cm
L_y	300	cm	K_{xe}	1	
L_a	300	cm	K_{ye}	1	
N_{tEd}	1500,00	kg	K_z	1	
N_{cEd}	4500,00	kg	C_b	1,00	
M_{xEd}	8000,00	kg.m	V_{xEd}	1000,00	kg
M_{yEd}	3000,00	kg.m	V_{yEd}	2000,00	kg

Lista de Erros	
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE TRAÇÃO
OK	PERFIL ATENDE A LIMITAÇÃO DO ÍND. DE ESB. LIMITE A TRAÇÃO
OK	PERFIL ATENDE A LIMITAÇÃO DO ÍND. DE ESB. LIM. A COMPRESSÃO
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE COMPRESSÃO
OK	PERFIL ATENDE OS PARÂMETROS DO ANEXO G DA NBR 8800/2008
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE MOMENTO FLETOR EM TORNO DO EIXO X
X	# ERRO 7 : PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE MOMENTO FLETOR EM TORNO DO EIXO Y
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE CISALHAMENTO NO EIXO X
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE CISALHAMENTO NO EIXO Y
X	# ERRO 11 : PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE FLEXO-TRAÇÃO
X	# ERRO 10 : PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE FLEXO-COMPRESSÃO

1 - Verificação de resistência a tração, segundo Item 5.2 NBR 8800/2008

Limitação do índice de esbeltez (Artigo 5.2.8)

Valor limite de 300.

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

$$\lambda_x = 42,58$$

$$\lambda_y = 114,07$$

PERFIL ATENDE A LIMITAÇÃO DO ÍND. DE ESB. LIMITE A TRAÇÃO

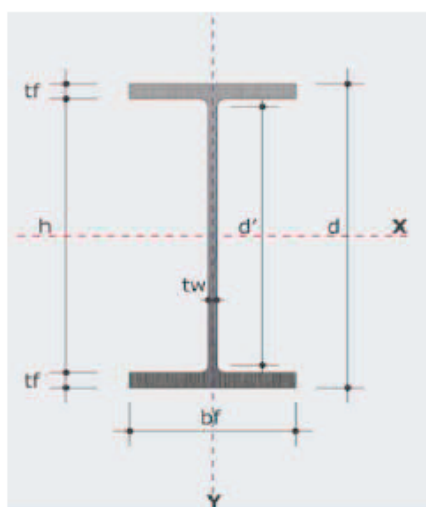
$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} = 132040,91 \text{ kg}$$

$$N_{t,Sd} = 1500,00 \text{ kg}$$

Figura 7 – Memorial de cálculo perfil soldado

MEMORIAL DE CÁLCULO



Dados do PERFIL					
A_g	64,80	cm ²	γ_{a1}	1,10	
b_f	17,10	cm	E_y	3450	kg/cm ²
t_f	1,16	cm	E	2000000	kg/cm ²
d	35,50	cm	G	770000	kg/cm ²
t_{wp}	0,72	cm	I	24,65	cm ⁴
d'	30,8	cm	r_x	14,81	cm
I_x	14222,00	cm ⁴	r_y	3,87	cm
I_y	968,00	cm ⁴			

Dados de PROJETO					
L_x	600	cm	L_b	300	cm
L_y	300	cm	K_x	1	
L_z	300	cm	K_y	1	
N_{tSd}	1500,00	kg	K_z	1	
N_{oSd}	4500,00	kg	C_b	1,00	
M_{xSd}	8000,00	kg.m	V_{tSd}	1000,00	kg
M_{ySd}	3000,00	kg.m	V_{ySd}	2000,00	kg

Lista de Erros	
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE TRAÇÃO
OK	PERFIL ATENDE A LIMITAÇÃO DO ÍND. DE ESB. LIMITE A TRAÇÃO
OK	PERFIL ATENDE A LIMITAÇÃO DO ÍND. DE ESB. LIM. A COMPRESSÃO
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE COMPRESSÃO
OK	PERFIL ATENDE OS PARÂMETROS DO ANEXO G DA NBR 8800/2008
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE MOMENTO FLETOR EM TORNO DO EIXO X
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE MOMENTO FLETOR EM TORNO DO EIXO Y
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE CISALHAMENTO NO EIXO X
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE CISALHAMENTO NO EIXO Y
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE FLEXO-TRAÇÃO
OK	PERFIL ATENDE A SOLICITAÇÃO DE FLEXO-COMPRESSÃO

1 - Verificação de resistência a tração, segundo Item 5.2 NBR 8800/2008	
Limitação do índice de esbeltez (Artigo 5.2.8)	
Valor limite de 300.	
$\lambda = \frac{KL}{r}$	$\lambda_x = 40,51$
	$\lambda_y = 77,52$
PERFIL ATENDE A LIMITAÇÃO DO ÍND. DE ESB. LIMITE A TRAÇÃO	
$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$	$N_{t,Rd} = 203236,36 \text{ kg}$
	$N_{t,Sd} = 1500,00 \text{ kg}$

5 Conclusão

Com o programa desenvolvido torna-se possível observar a evolução das estruturas em geral, tornando as mesmas mais esbeltas e arrojadas, reduzindo o consumo de material gerando mais economia. Essa evolução trouxe consigo uma demanda por projetos cada vez mais complexos, num tempo onde cada vez mais o prazo para a realização do projeto é menor, sendo adequado a utilização de softwares que facilitem as análises.

Apresentou-se neste estudo uma solução para elaborar a verificação de um perfil de forma mais rápida. Aliando esse fato à evolução da informática, criaram-se os programas com rotinas pré-programadas, que realizam da mesma forma ou até mais precisa, a verificação do dimensionamento, antes feito manualmente. Desta forma diminui a carga de trabalho repetitiva dos profissionais, permitindo que os mesmos tenham mais tempo para focar na concepção da estrutura e busca por outras possibilidades estruturais.

Com a elaboração do programa, observou-se que para o dimensionamento de um perfil I, existem várias verificações a serem realizadas, com um grande número de variáveis e unidades de medidas envolvidas, que, quando verificadas manualmente aumentam o risco de ocorrerem erros, além de demandar muito tempo.

Nos testes comparativos realizados no programa desenvolvido, observou-se pequenas diferenças entre os resultados, oriundas de arredondamentos realizados durante as verificações e algumas simplificações da norma técnica. As diferenças por arredondamentos não foram significativas.

Logo o programa desenvolvido possui grande aplicabilidade em meios acadêmicos, devido a sua funcionalidade simples e interface amigável, apresentando por fim um memorial de cálculo para o usuário, que pode utilizá-lo para conferências com cálculo manuais, visto que estão apresentadas todas variáveis e equações com suas respectivas origens.

O trabalho abre um leque grande de para trabalhos futuros, observando que existem lacunas a serem preenchidas, como inclusão do Anexo H da NBR 8800 (ABNT,2008) e inclusão de verificação de mais tipos de perfis.

Referências bibliográficas

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

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

BELLEI, Ildoney H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O.; *Edifícios de múltiplos andares em aço*. São Paulo: Pini, 2004, 454 p.

GUARNIER, Christiane R. F.; *Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas*. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto 2009.

OLIVEIRA, Ana Beatriz de Figueiredo. *Inserção de sistemas construtivos industrializados de ciclo abertura estruturados em aço no mercado da construção civil residencial brasileira*. Dissertação do programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013.

PFEIL, Walter. PFEIL, Michele. *Estruturas de aço: dimensionamento prático*. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 357pg ISBN 978-85-216-1611-5.

QUEIROS, Luciano O.A. *Análise estrutural de galpões pré-moldados em concreto considerando a influência da rigidez nas ligações viga-pilar*. 2007. 119p. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió.

SABBATINI, Fernando H. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia*. 1989. Tese Doutorado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo.

Apêndice 1

- ♦ # ERRO 1: PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE TRAÇÃO: ocorre quando o perfil analisado possui a força axial de tração resistente de cálculo ($N_{t,Rd}$) menor que a força axial de tração solicitante de cálculo ($N_{t,Sd}$), dessa forma o perfil não atende as condições de resistência, sendo que o perfil deve ser revisto.
- ♦ # ERRO 2: PERFIL NÃO ATENDE O ÍNDICE DE ESBELTEZ LIMITE A TRAÇÃO: ocorre quando o índice de esbeltes (λ), supera em uma ou nas duas direções o valor de 300, sendo este o limite imposto pela NBR 8800 (ABNT, 2008) no seu item 5.2.8.1.
- ♦ # ERRO 3: PERFIL NÃO ATENDE O ÍNDICE DE ESBELTEZ LIMITE A COMPRESSÃO: ocorre quando o índice de esbeltes (λ), supera em uma ou nas duas direções o valor de 200, este sendo o limite imposto pela NBR 8800 (ABNT, 2008) no seu item 5.3.4.1.
- ♦ # ERRO 4: PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE COMPRESSÃO: ocorre quando o perfil analisado possui a força axial de compressão resistente de cálculo ($N_{c,Rd}$) menor que a força axial de compressão solicitante de cálculo ($N_{c,Sd}$), dessa forma o perfil não atende as condições de resistência e o perfil deve ser revisto.
- ♦ # ERRO 5: PERFIL DE ALMA ESBELTA NÃO SÃO ABORDADOS PELO PROGRAMA, REVER PERFIL: ocorre quando o perfil analisado possui o parâmetro de esbeltes (λ) da alma maior que o parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento (λ_p), enquadrando a análise do perfil no Anexo H da NBR 8800 (ABNT, 2008), que não está abordado no programa desenvolvido, a solução é adotar um perfil com outras características geométricas.
- ♦ # ERRO 6: PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE MOMENTO FLETOR EM TORNO DO EIXO X: ocorre quando o perfil analisado possui o momento fletor resistente de cálculo ($M_{x,Rd}$) menor que o momento fletor solicitante de cálculo ($M_{x,Sd}$), dessa forma o perfil não atende as condições de resistência e o perfil deve ser revisto.
- ♦ # ERRO 7: PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE MOMENTO FLETOR EM TORNO DO EIXO Y: ocorre quando o perfil analisado possui o momento fletor resistente de cálculo ($M_{y,Rd}$) menor que o momento fletor solicitante de cálculo ($M_{y,Sd}$), dessa forma o perfil não atende as condições de resistência e deve ser revisto.
- ♦ # ERRO 8: PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE CISALHAMENTO NO EIXO X: ocorre quando o perfil analisado possui a força cortante

resistente de cálculo (V_{xRd}) menor que a força cortante solicitante de cálculo (V_{xSd}), dessa forma o perfil não atende as condições de resistência e o perfil deve ser revisto.

- ♦ # ERRO 9: PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE CISALHAMENTO NO EIXO Y: ocorre quando o perfil analisado possui a força cortante resistente de cálculo (V_{yRd}) menor que a força cortante solicitante de cálculo (V_{ySd}), dessa forma o perfil não atende as condições de resistência e o perfil deve ser revisto.
- ♦ # ERRO 10: PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE FLEXO-COMPRESSÃO: ocorre quando o perfil analisado não atende as condições de resistência para a interação entre as forças de compressão e flexão, o perfil deve ser revisto.
- ♦ # ERRO 11: PERFIL NÃO ATENDE A SOLICITAÇÃO DE FLEXO-TRAÇÃO: ocorre quando o perfil analisado não atende as condições de resistência para a interação entre as forças de tração e flexão, o perfil deve ser revisto.
- ♦ # ERRO 12: I_y É MAIOR QUE I_x , CASO NÃO PREVISTO EM NORMA: ocorre quando o momento de inércia em torno do eixo “y”, (I_y), informado pelo usuário supera o valor informado para o momento de inércia em torno do eixo “x”, (I_x), caso que não está previsto na NBR 8800 (ABNT, 2008), dessa forma o perfil ou os dados informados devem ser revisados.
- ♦ # ERRO 13: d' É MAIOR QUE d , REVER DADOS INFORMADOS: ocorre quando o valor de (d') informado pelo usuário supera o valor informado para (d), essas informações são incoerentes, pois em nenhum caso a altura interna entre as mesas supera o valor para altura total do perfil, os dados informados devem ser revisados.
- ♦ PERFIL OK!! = esta mensagem apresenta-se quando o perfil em análise atende a todos os critérios da norma e está resistindo aos esforços solicitantes de projeto.