



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PERFIS METÁLICOS DO TIPO
I COM O AUXÍLIO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS**

PEDRO GUILHERME LEITE FEITOSA

POMBAL – PB

2022

PEDRO GUILHERME LEITE FEITOSA

DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PERFIS METÁLICOS DO TIPO I
COM O AUXÍLIO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof. Eduardo Morais de Medeiros

POMBAL – PB

2022

F311d Feitosa, Pedro Guilherme Leite.

Dimensionamento otimizado de perfis metálicos do tipo I com o auxílio de planilhas eletrônicas / Pedro Guilherme Leite Feitosa. – Pombal, 2022.
44 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia
Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros”.

Referências.

1. Estruturas metálicas. 2. Dimensionamento estrutural. 3. Otimização de estruturas. 4. Dimensionamento otimizado. 5. Barras metálicas. 6. Solver. 7. Custo-benefício. 8. Vigas metálicas. I. Medeiros, Eduardo Morais de. II. Título.

CDU 693.8(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

PEDRO GULHERME LEITE FEITOSA

**DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PERFIS METÁLICOS DO TIPO I COM O
AUXÍLIO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS**

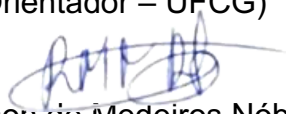
Trabalho de Conclusão de Curso do discente Pedro Guilherme Leite Feitosa **APROVADO** em 21 de dezembro de 2022 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande

Registre-se e publique-se.



Assinado digitalmente por EDUARDO
MORAIS DE MEDEIROS:06778859466
Razão: Eu atesto a precisão e a
integridade deste documento
Localização: Pombal-PB
Data: 2023.02.08 07:22:08-03'00'

Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros
(Orientador – UFCG)


Prof. Me. Railson de Medeiros Nóbrega Alves
(Membro Interno – UFCG)

Bruna Hélen Brito de Araújo
Eng. Bruna Hélen Brito de Araújo
(Membro Externo – Engenheira Civil)

AGRADECIMENTOS

Primordialmente expresso toda gratidão aos meus pais ,Vanessa e Josueno, e meus irmãos, pelo alicerce que me concederam durante essa trajetória, e por tornarem possível que vivenciasse esta tão aguardada etapa de finalização deste ciclo tão importante que é a minha graduação.

Agradeço também a minha namorada, Jainnara, por sempre estar ao meu lado me incentivando, me ajudando e acima de tudo acalmando durante os duros e turbulentos estágios de produção deste trabalho.

Ao meu orientador, Eduardo Moraes, por ter paciência comigo, e apontado os melhores caminhos no passo desta jornada.

À minha família que estava sempre do meu lado.

E aos laços que criei, aos amigos que fiz durante toda a minha trajetória acadêmica, e que tornaram esta passagem mais leve e produtiva.

Dimensionamento otimizado de perfis metálicos do tipo I com o auxílio de planilhas eletrônicas

Autor, e-mail: Pedro Guilherme Leite Feitosa, pedrogfleitosa@gmail.com

Orientador, e-mail: Eduardo Morais de Medeiros, mm.edu@hotmail.com

RESUMO

O processo de otimização busca atingir o melhor resultado seguindo restrições necessárias, a fim de obter uma alta qualidade e baixo custo, consistindo em uma valiosa ferramenta para a construção de projetos estruturais. Considerando este fato, este trabalho procurou desenvolver uma planilha de cálculo que possibilitasse o dimensionamento otimizado de uma viga biapoiada, levando em consideração uma carga uniformemente distribuída proveniente de carregamentos permanentes e acidentais, para perfis laminados e soldados do tipo I. Seu dimensionamento é feito por meio da função Solver do Excel, através de restrições de cálculo que irá alterar suas propriedades geométricas, buscando encontrar a menor área possível para diversas solicitações de cargas e assim comparar os perfis otimizados com os perfis pré-fabricados pela Gerdau e pela NBR 5884. Dessa forma, foi encontrado que o perfil W seria a melhor opção entre os perfis otimizados e o perfil VS a melhor opção dentre os pré-fabricados.

Palavras-chave: Otimização, Barras Metálicas, Solver, Dimensionamento, Custo-benefício.

ABSTRACT

The optimization process seeks to achieve the best result following the necessary restrictions, in order to obtain a high quality and low cost, consisting of a valuable tool for the construction of structural projects. Considering this fact, this work sought to develop a spreadsheet that would enable the optimized design of a simply supported beam, taking into account a uniformly distributed load from permanent and accidental loads, for type I rolled and welded profiles. through Excel's Solver function, through calculation constraints that will change its geometric properties, seeking to find the smallest possible area for various load requests and thus compare the optimized profiles with the prefabricated profiles by Gerdau and by NBR 5884. Thus, it was found that the W profile would be the best option among the optimized profiles and the VS profile the best option among the prefabricated ones.

Keywords: Optimization, Metallic Beams, Solver, Sizing, Cost-effective.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O uso dos metais tem sido trabalhado pelo homem a milhares de anos, e com os avanços científicos e tecnológicos estabelecidos ao longo do tempo os processos envolvendo esse tipo de material tem obtido diversas aplicabilidades e funções em benefício da humanidade, dentre elas destaca-se a criação do aço e sua utilização no ramo da construção civil, conforme descrito por Monferrato (2022). Segundo Pereira (2019), o uso do aço estrutural remonta à segunda metade do século XIX, com o

surgimento do concreto armado, e com o decorrer dos anos foram descobertas as suas vantagens para projetos de estruturas metálicas.

Ademais, como dito pela Senteq (2022), ao se tratar de estruturas metálicas, é comumente atribuído o pensamento de que este é um formato novo de construção, todavia seu emprego é estabelecido desde o século XVIII na Europa, como uso substituto para madeira e outros materiais. Conforme dito por Pereira (2019), isso ocorre devido ao fato de que o aço se constitui como um material leve, resistente e que pode adquirir formatos que facilitam sua utilização dentro de projetos, com sua produção sendo feitas a partir de chapas, barras e perfis.

Outrossim, ainda descrito pela Senteq (2022), no Brasil, a construção com estruturas metálicas era realizada a partir de matéria-prima importada. Entretanto essa situação se reverteu após o período da Segunda Guerra Mundial, com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional e da Usina de Volta Redonda, ocasionando um aumento significativo no número de obras com o uso do aço estrutural.

Esses perfis metálicos, segundo descrito pela NBR 8800 (ABNT, 2008), podem ser laminados, soldados ou formados a frio, e podem possuir propriedades, dimensões e usos diferentes em decorrência de suas geometrias. Segue a figura 1 citando alguns tipos de perfis metálicos:

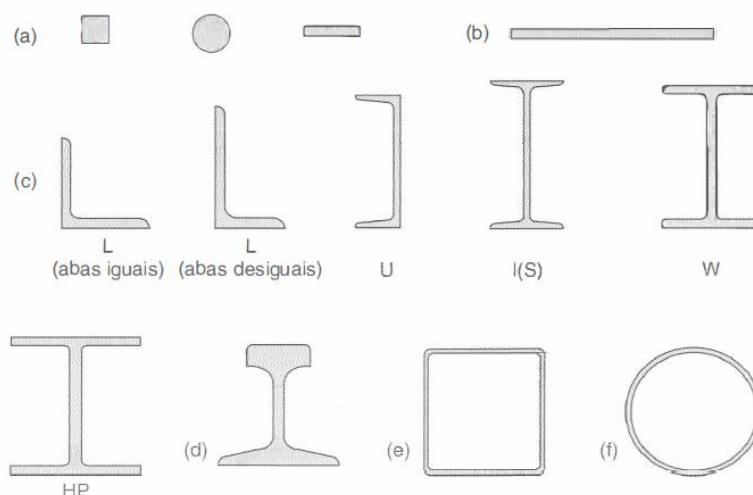


Figura 1 – Principais produtos siderúrgicos laminados de utilização estrutural.
(Fonte: Pfeil, 2008.)

Para mais, conforme dito por Cortez *et al* (2017), as construções metálicas a partir desses perfis tornaram-se essenciais em grande parte das obras, demonstrando ser um forte concorrente na disputa contra o concreto armado, possuindo como algumas de suas principais características a versatilidade, sustentabilidade e a velocidade de execução. E segundo a Gerdau (2022), seus perfis englobam diversas aplicações em diversos setores, como: construção civil, siderúrgica, indústria, naval, mineração, entre outras.

De acordo com Pfeil (2009), seu uso conjugado com o concreto foi denominado viga mista aço-concreto, onde uma viga formada pela associação de um perfil metálico com uma laje de concreto armado, como exemplificado pela figura 2, é utilizado em estruturas de edifícios e pontes produzindo uma solução econômica.

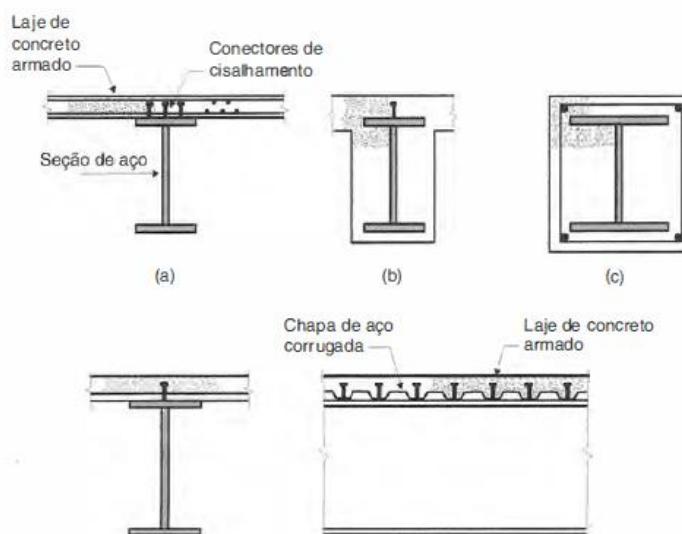


Figura 2 – Estruturas mista de aço-concreto. (Fonte: Pfeil, 2008.)

De acordo com Alves (2002), durante o desenvolvimento de um projeto estrutural, procura-se atingir as condições de qualidade e segurança, pois, a problemática de análise estrutural independente da carga solicitada, mas sim, da busca por menor custo benefício e baixo peso estrutural. Diante dessa afirmação, pode-se concluir que a busca por soluções ótimas dentro das construções civis tornou-se uma necessidade a ser alcançada por todo engenheiro.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Cabe destacar que este trabalho tem como objetivo principal otimizar vigas metálicas de perfis I dos tipos laminados e soldados, com o uso da plataforma *Microsoft Office Excel* para o estudo das relações entre diversos tipos de solicitações de cargas aplicadas a laje e conseqüentemente, transmitidas para a viga.

1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Dimensionamento dos perfis W, HP, VS e CVS;
- Comparação entre os perfis otimizados e os pré-fabricados disponíveis pelo mercado em função do custo;
- Desenvolvimento de uma planilha de cálculo automatizada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. PERFIL METÁLICO LAMINADO PADRÃO GERDAU

Convém salientar que a empresa brasileira Gerdau é a maior produtora de aço longo das Américas e uma das principais fornecedoras de aços especiais no mundo, seus produtos atuam em diversos setores, como construção, indústria automotiva,

maquinários, naval, energia, etc. Seus perfis representam um reforço em termos de produtos de classe mundial, ajudando o campo de estruturas de aço a aumentar sua competitividade, atuando dentro das normas de conformidade, padronizando suas propriedades e tolerâncias, determinados pela NBR 15980 (ABNT, 2011) (Gerdau, 2018).

Sua atuação está presente principalmente na área de estruturas laminadas, produzindo perfis e barras, sendo os mais conhecidos seus perfis do tipo W(I) e HP(H), com suas bitolas variando entre 150 a 610 milímetro. Sendo eles produzidos em aço ASTM A 572 grau 50, ASTM A 572 grau 60, ASTM A 992, Aço COR 500, ASTM A 131 AH32, ASTM A 131 AH36 e ASTM A 36 (Gerdau, 2018), com suas especificações dispostas na figura 3.

	ASTM A 572 Grau 50	ASTM A 572 Grau 60*	ASTM A 992*
Limite de Escoamento (MPa)	345 mín.	415 mín.	345 a 450
Limite de Resistência (MPa)	450 mín.	520 mín.	450 mín.
Alongamento após ruptura (%)	18 mín.	16 mín.	18 mín.
	AÇO COR 500*	ASTM A 131 AH32*	ASTM A 131 AH36*
Limite de Escoamento (MPa)	370 mín.	315 mín.	355 mín.
Limite de Resistência (MPa)	500 mín.	440 a 590	490 a 620
Alongamento após ruptura (%)	18 mín.	19 mín.	19 mín.

Figura 3 – Propriedades mecânicas dos aços pela Gerdau. (Fonte: Catálogo de informações técnicas da Gerdau, 2018.)

2.2. PERFIL SOLDADO PADRÃO NBR 5884

Com relação aos perfis soldados, estes são realizados pela ligação entre chapas estruturais ou de perfis laminados simples, unidas entre si por soldagem a arco elétrico. O perfil do tipo I é o mais comum entre eles e possuem 3 séries de perfis com tolerâncias determinadas pela NBR 5884 (ABNT, 2013), são eles: perfil CS (coluna soldadas), perfil VS (viga soldadas) e perfil CVS (coluna e viga soldadas). Podendo ser produzidos com os aços MR250 e AR350, que correspondem especificamente aos aços ATMS A36 e ATMS A572, de acordo com a NBR 7007 – Aços-carbono e aços microligados para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural (ABNT, 2022).

Tabela 1 – Propriedades mecânicas dos aços para perfis laminados

Descrição	Classe/Grau	f_y (Mpa)	f_u (Mpa)
1- Aços para perfis laminados para uso estrutural NBR 7007	MR250	250	400–560
	AR350	350	450
	AR415	415	520
	AR350-COR	350	485

Fonte: Pfeil, 2008.

2.3. OTIMIZAÇÃO

É válido salientar que ao processo de busca da melhor solução para um dado problema entre um conjunto de possíveis combinações de variáveis dá-se o nome de otimização. Ademais, como o aço estrutural é um material que apresenta um

comportamento teórico muito semelhante ao real, o recurso a métodos de otimização estrutural é altamente vantajoso no dimensionamento da estrutura (Pereira, 2019).

A otimização ao nível do dimensionamento estrutural pode representar grande economia no custo de grandes empreendimentos, implicando o aumento da competitividade dos gabinetes de projeto. É visível também que o recurso à otimização apresenta benefícios relativamente à poupança de material, promovendo a sustentabilidade (Pereira, 2019).

Outrossim, a otimização matemática fundamenta-se como uma valiosa ferramenta para a realização de projetos estruturais. Isso ocorre, devido ao comportamento físico de uma estrutura que pode ser caracterizado como funções matemáticas. Desse modo, pode-se fazer o uso dessas funções para aplicar métodos de otimização e descobrir valores ótimos (Maia, 2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O método de análise desenvolvida remete a pesquisas bibliográficas de grandes estudiosos sobre o assunto como Pfeil e seu livro de estruturas de aço e dimensionamento prático, como forma de se aprofundar sobre os métodos de dimensionamento de vigas metálicas, seguindo os parâmetros determinados pela NBR 8800 (ABNT, 2008), relacionada ao catálogo de perfis metálicos laminados I do tipo W e H da Gerdau disponível em seu site e as tabelas de perfis soldados do tipo CVS e VS da NBR 5884 (ABNT, 2013). Segue o fluxograma do caminho de cálculo utilizado para o dimensionamento dos perfis representado pela figura 4.

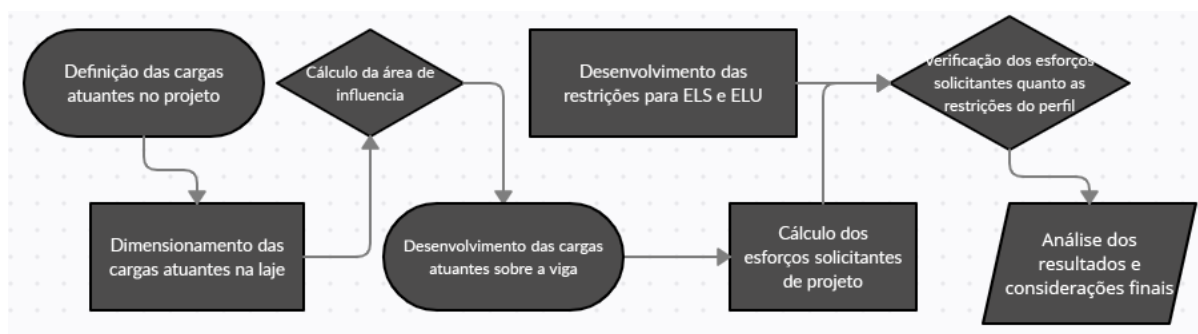


Figura 4 – Fluxograma de cálculo do projeto. (Fonte: Autoria própria, 2022.)

É necessário salientar ainda que o propósito deste trabalho se refere a busca de perfis ótimos que melhor se encaixem para diferentes tipos de cargas aplicadas, e que gere um menor custo, mediante o dimensionamento de vigas metálicas biapoiadas classificadas em sessões compactadas, quando o momento atinge uma plastificação total, ou semicompactadas, quando o momento atinge uma plastificação parcial. No qual essas vigas são determinadas através das condições de flambagem local da mesa, flambagem local da alma, flambagem lateral com torção e deslocamento vertical.

3.1. PROPRIEDADE GEOMÉTRICA DO PERFIL LAMINADO

Cabe destacar que para o dimensionamento do perfil foi utilizada a seção de perfis I e H de abas paralelas do catálogo da Gerdau, presentes nos anexos 1 e 2. Dessa forma, foram definidas todas as variáveis geométricas a serem utilizadas. De acordo com a figura 5, suas variáveis são:

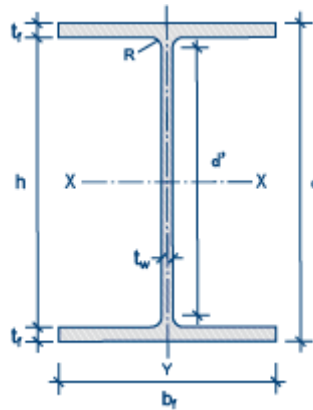


Figura 5 – Perfil W e HP. (Fonte: Tabela de bitolas da Gerdau, 2018.)

- altura do perfil (d)
- altura livre da alma (sem os raios de concordância, $h - 2R$) (d'),
- altura interna (h),
- largura da mesa do perfil (b_f),
- espessura da mesa (t_f),
- espessura da alma (t_w)
- raio de concordância (R).

A partir das propriedades geométricas acima, que serão posteriormente determinadas, serão utilizadas para o dimensionamento das vigas de perfil laminado, as equações a seguir descritas por *Lazzari et al* (2017):

$$A_b = 2b_f t_f + h t_w + R^2(4 - \pi) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$I_x = \frac{h^3 + t_w + b_f(d^3 - h^3)}{12} + \frac{R}{6}(h^3 - d'^3) - \pi R^2 \left(\frac{R^2}{4} + \frac{d'^2}{4} + d' \frac{4R}{3\pi} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$W_x = \frac{I_x}{d/2} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$Z_x = \frac{b_f(d^2 - h^2) + t_w h^2}{4} + R^2 \left[2(d' + R) - \pi \left(\frac{d'}{2} + \frac{4R}{3\pi} \right) \right] \quad (\text{Eq. 4})$$

$$I_y = \frac{2t_f b_f^3 + d' t_w^3}{4} + \frac{R(2R + t_w)^3}{6} - \frac{16R}{3\pi} \left[R^2 + R^2 + (2R + t_w - \frac{16R}{3\pi}) \right] \quad (\text{Eq. 5})$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_b}} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$C_w = \frac{I_y(d - t_f)^2}{4} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$J = \frac{1}{3}(2b_f t_f^3 + h t_w^3) + 2\alpha_1 D_1^4 - 0,420 t_f^4 \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\alpha_1 = -0,042 + 0,2204 \frac{t_w}{t_f} + 0,1355 \frac{R}{t_f} - 0,0865 \frac{t_w R}{t_f^2} - 0,0725 \frac{t_w^2}{t_f^2} \quad (\text{Eq. 11})$$

$$D_1 = \frac{(t_f + R)^2 + t_w(R + \frac{t_w}{4})}{2R + t_f} \quad (\text{Eq. 12})$$

- Área bruta (Eq. 1);
- Momento de inércia em relação ao eixo x (Eq. 2);
- Módulo de comprimento elástico relativo ao eixo de flexão x (Eq. 3);
- Módulo plástico para flexão em torno do eixo x (Eq. 4);
- Momento de inércia em relação ao eixo y (Eq. 5);
- Raio de giração em torno do eixo y (Eq. 6);
- Constante de empenamento (Eq. 7);
- Constante de torção (Eq. 8);
- Parâmetro de esbeltez correspondente a mesa da seção (Eq. 9);
- Parâmetro de esbeltez correspondente a alma da seção (Eq. 10);
- Constantes de cálculo α_1 e D_1 (Eq. 11) e (Eq. 12).

3.2. PROPRIEDADE GEOMÉTRICA DO PERFIL SOLDADO

Foram utilizados para o dimensionamento ótimo dos perfis soldados o perfil VS e o perfil CVS de série simétrica determinados pelas NBR 5884 (ABNT, 2013), disponível nos anexos 3 ao 11. Dessa forma, a definição de suas variáveis para os dois perfis é muito parecida com as do catálogo da Gerdau, demonstrado pelas figuras 6 e 7, sendo elas:

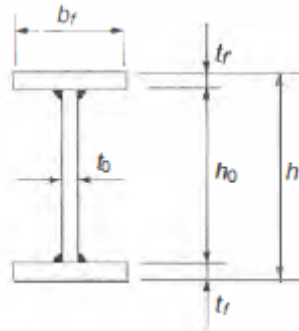


Figura 6 – Perfil VS. (Fonte: Pfeil, 2008.)

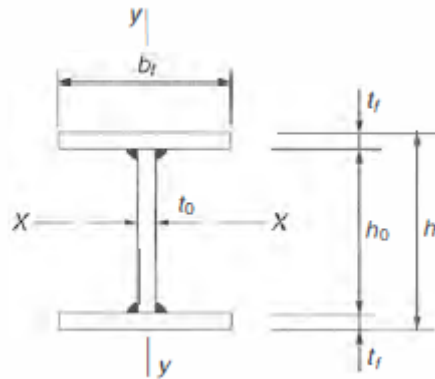


Figura 7 – Perfil CVS. (Fonte: Pfeil, 2008.)

- altura do perfil (h);
- altura da alma (h₀);
- largura da mesa (b_f);
- espessura da mesa em geral (t_f);
- espessura da alma (t_w)

Para os perfis soldados, de acordo com a NBR 5884 (ABNT, 2013), suas equações de dimensionamento são:

$$A_b = 2b_f t_f + h t_w \quad (\text{Eq. 13})$$

$$I_x = \frac{h^3 + t_w + b_f(d^3 - h^3)}{12} \quad (\text{Eq. 14})$$

$$Z_x = \frac{b_f(d^2 - h^2) + t_w h^2}{4} \quad (\text{Eq. 15})$$

$$I_y = \frac{2t_f b_f^3 + h t_w^3}{4} \quad (\text{Eq. 16})$$

$$J = \frac{1}{3}(2b_f t_f^3 + h t_w^3) \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde:

- Área bruta (Eq. 13);
- Momento de inércia em relação ao eixo x (Eq. 14);
- Módulo plástico para flexão em torno do eixo x (Eq. 15);
- Momento de inércia em relação ao eixo y (Eq. 16);
- Constante de torção (Eq. 17);

3.3. DIMENSIONAMENTO

Para mais, no que tange dimensionamento do perfil, este seguirá o método de cálculo determinado pela NBR 8800 (ABNT, 2008), levando em conta uma viga biapoiada com carregamento uniforme, produzida com aço A36 e fazendo o uso de planilhas eletrônicas para a efetuação dos cálculos. No qual, as barras submetidas a momento fletor e força cortante, deve ser atendidas as seguintes condições:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (\text{Eq. 19})$$

$$\delta_{Sd} \leq \delta_{Lim} \quad (\text{Eq. 20})$$

$$\lambda < \lambda_r \quad (\text{Eq. 21})$$

Onde:

- M_{Sd} – Momento solicitante de cálculo;

- M_{Rd} – Momento resistente de cálculo;
- V_{Sd} – Esforço cortante solicitante de cálculo;
- V_{Rd} – Esforço cortante resistente de cálculo;
- δ_{Sd} – Deslocamento de solicitante
- δ_{Lim} – Deslocamento limite
- λ – Índice de esbeltez
- λ_r – Índice de esbeltez limite para seções semicompactas

Em que, M_{Rd} e V_{Rd} são as solicitações resistentes do momento de flexão e da força cortante para cada estado-limite. E M_{Sd} e V_{Sd} é o momento solicitante de cálculo e a força cortante de cálculo, determinadas pelos valores máximos presente nos diagramas de momento fletor e de esforço cortante.

3.3.1. Ações atuantes

Com o intuito de majorar as solicitações de cargas atuantes sobre a viga para obter um perfil ótimo coerente e com mais segurança e realizar seu dimensionamento, será considerado cargas permanentes, diversos valores de cargas acidentais de acordo com a NBR 6120 (ABNT, 2019), para uma laje mista considerando vigas intermediárias ou de extremidade com um comprimento de 6 metros.

Portanto, para as cargas permanente teremos:

- O peso próprio do elemento metálico (será considerado um valor padrão de 1,2 kN/m para ser utilizado na otimização);
- O peso da laje maciça com 12 cm de espessura;
- alvenaria com o uso de bloco cerâmico de 2,6 m de altura e 15 cm de espessura (considerando o peso específico da alvenaria de 13kN/m³);
- revestimento (1,5 kN/m²).

Para as cargas acidentais, levará em conta os valores das tabelas dos anexos 12 e 13.

3.3.2. Esforços solicitantes de cálculo

O dimensionamento do perfil será feito para atender aos esforços máximos que está sendo aplicado sobre a viga, para o momento e para a cortante. Como a viga estudada se trata de uma viga biapoiada com carga uniformemente distribuída, o momento e a cortante máxima definidas pelo diagrama de momento fletor e diagrama do esforço cortante são calculados conforme as equações a seguir:

$$M_{Sd} = \frac{Q L^2}{8} \quad (\text{Eq. 22})$$

$$V_{Sd} = \frac{Q L}{2} \quad (\text{Eq. 23})$$

Onde:

- Q – Carga atuante na viga;
- L – Vão da viga

3.3.3. Momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd})

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), o cálculo do momento fletor resistente é estabelecido levando em conta cada caso em que se deseja dimensionar uma viga. Como estamos buscando dimensionar perfis ótimos que se encaixe nas solicitações para projeto, não iremos considerar seções esbeltas pelo fato de serem muito instáveis pela grande altura da alma ou do vão, desse modo, não será feito o cálculo para os momentos críticos de flambagem elástica (M_{Cr}). Portanto, os estados-limites a serem verificados para uma viga solicitada a flexão são: flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa comprimida (FLM) e flambagem local da alma (FLA).

Desse modo, os esforços FLA e FLM tem para o cálculo do momento de flexão resistente as seguintes definições:

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{ai}}, \text{ para seções compactas } (\lambda \leq \lambda_p) \quad (\text{Eq. 24})$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{ai}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right], \text{ para seções semicompactas } (\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r) \quad (\text{Eq. 25})$$

E para o esforço FLT, as definições para o cálculo do momento de flexão resistente são:

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{ai}}, \text{ para seções compactas } (\lambda \leq \lambda_p) \quad (\text{Eq. 26})$$

$$M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{ai}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{ai}}, \text{ para seções semicompactas } (\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r) \quad (\text{Eq. 27})$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{m\acute{a}x}}{2,5 M_{m\acute{a}x} + 3 M_A + 4 M_B + 5 M_C} \quad (\text{Eq. 28})$$

Onde:

- M_{pl} – Momento de plastificação total da seção;
- γ_{a1} – Coeficiente parcial de segurança para aço estrutural;
- λ – Índice de esbeltez;
- λ_r – Parâmetro de esbeltez limite correspondente ao início do escoamento;
- λ_p – Parâmetro de esbeltez limite correspondente a plastificação;
- M_{cr} – Momento crítico de flambagem elástica;
- M_r – Momento de início de escoamento considerando as tensões residuais;
- C_b – Fator de modificação da resistência à flexão para o diagrama não uniforme de momento de flexão;
- $M_{máx}$ – Momento fletor máximo no trecho da viga em módulo;
- M_A – Momento fletor a uma distância de 25% do comprimento da viga;
- M_B – Momento fletor a uma distância de 50% do comprimento da viga;
- M_c – Momento fletor a uma distância de 75% do comprimento da viga.

Devido ao fato de o carregamento ser uniformemente distribuído, percebe-se a relação que o $M_{máx}$ e o M_B terão valores iguais e correspondentes ao uso da equação 22 e que o M_A e M_c terão valores iguais a 75% do valor do M_B , assim exemplificado pelas figuras 8 e 9.

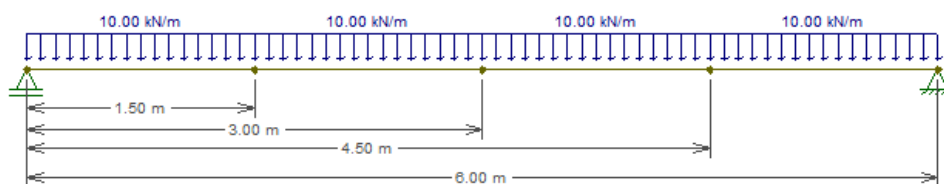


Figura 8 – Exemplo de carga distribuída. (Fonte: Autoria própria, 2022.)

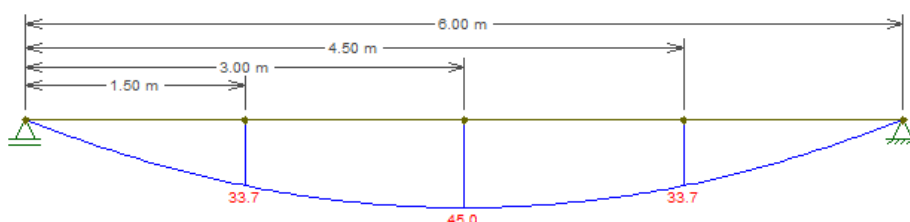


Figura 9 – Relação entre os momentos pela distância. (Fonte: Autoria própria, 2022.)

3.3.4. Flambagem local da mesa comprimida

Quanto a verificação para a flambagem local da mesa para perfil I ou H laminados e soldados, como mostrado pela figura 10, esta é definida a partir do seu parâmetro de esbeltez, uma forma de medida utilizada para estimar a suscetibilidade de uma barra a flambagem, mostrado por Pfeil (2009). Assim, é possível definir o estado-limite regido para a peça ao se comparar o parâmetro de esbeltez pela equação 9 com os índices λ_p e λ_r , e relaciona-las com as equações 24, 25 e 26, descritas anteriormente.

Assim sendo, seguem abaixo as equações das variáveis para a definição do momento fletor resistente de cálculo relativo à flambagem da mesa para perfil laminado:

$$M_{pl} = Z_x f_y \quad (\text{Eq. 29})$$

$$M_r = W_x (f_y - \sigma_r) \quad (\text{Eq. 30})$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 31})$$

$$\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{f_y - \sigma_r}} \quad (\text{Eq. 32})$$

Onde:

- Momento de plastificação total da seção (Eq.29);
- Momento de início de escoamento considerando as tensões residuais para a mesa (Eq. 30);
- Parâmetro de esbeltez limite correspondente a plastificação para a mesa (Eq. 31);
- Parâmetro de esbeltez limite correspondente ao início do escoamento para a mesa em perfis laminados (Eq. 32);
- f_y – Resistência ao escoamento do aço;
- E – Módulo de elasticidade do aço;
- σ_r – Tensão residual de compressão nas mesas de valor igual a 30% de f_y .

Para os perfis soldados, a diferença das equações das variáveis de acordo com nota 6 do anexo G da NBR 8800 (ABNT, 2008) para o eixo de maior momento de inércia (eixo x) são:

$$M_{cr} = \frac{0,90Ek_c}{\lambda^2} W_x \quad (\text{Eq. 33})$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r) / k_c}} \quad (\text{Eq. 34})$$

No qual k_c é um coeficiente com valor entre 0,35 e 0,76, definido pela equação 34.

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \quad (\text{Eq. 35})$$

Onde:

- Momento crítico de flambagem elástica para as mesas em perfis soldados (Eq. 33);
- Parâmetro de esbeltez limite correspondente ao início do escoamento para as mesas em perfis soldados (Eq. 34).

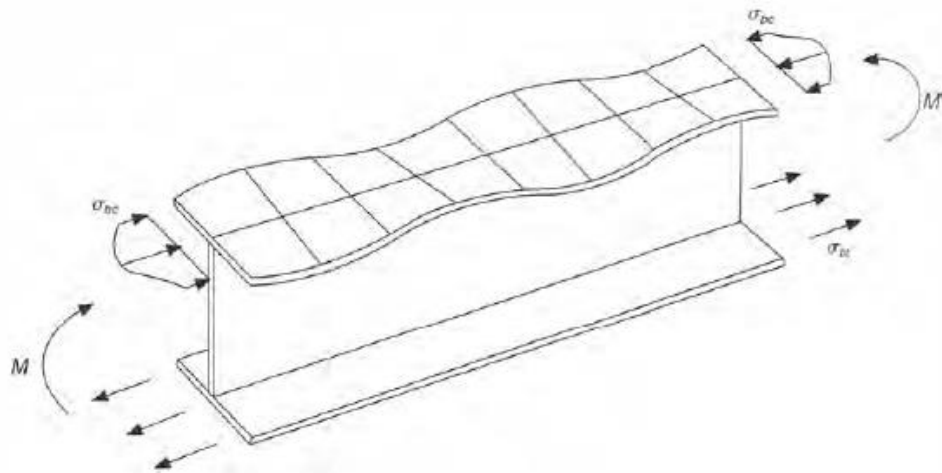


Figura 10 - Flambagem local da mesa comprimida em vigas I fletidas no plano da alma. (Fonte: Pfeil, 2008.)

3.3.5. Flambagem local da alma

Assim como o FLM, a verificação da flambagem local da alma do perfil I ou H de perfis laminados ou soldados, demonstrado pela figura 11, também é definida de acordo com o índice de esbeltez da peça, e desse mesmo modo, é possível definir o estado-limite regido ao se comparar o parâmetro de esbeltez pela equação 10 com os índices λ_p e λ_r , e relaciona-las com as equações 24, 25 e 26, descritas previamente.

A seguir encontram-se as equações das variáveis para a definição do momento fletor resistente de cálculo relacionado a flambagem alma para perfil laminado e soldados para o eixo x

$$M_r = W_x f_y \quad (\text{Eq. 36})$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 37})$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 38})$$

Onde:

- Momento de início de escoamento considerando as tensões residuais para a alma (Eq. 36);
- Parâmetro de esbeltez limite correspondente a plastificação para a alma (Eq. 37);
- Parâmetro de esbeltez limite correspondente ao início do escoamento para a alma (Eq. 38);
- Para o M_{pl} foi utilizado a equação 29.

Convém destacar que como a determinação do momento crítico de flambagem elástica (M_{cr}) para o esforço FLA é uma verificação muito complexa e feita para almas esbeltas, não será necessária essa verificação, pois para os perfis soldados e laminados não será considerado almas esbeltas para o cálculo.

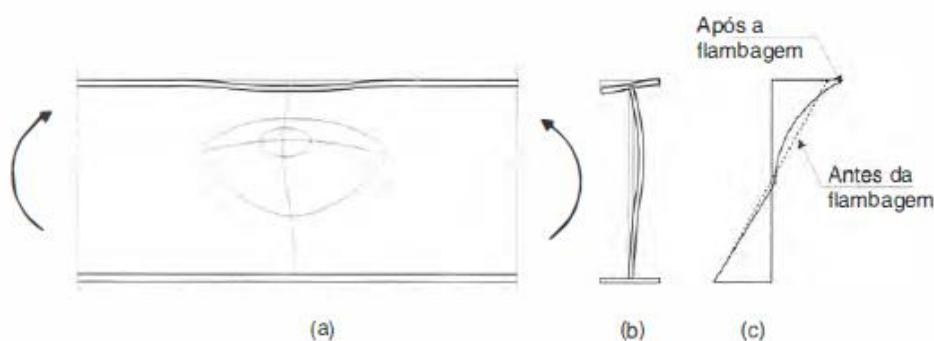


Figura 11 – Flambagem local da alma devida ao momento fletor. (Fonte: Pfeil – Estruturas de aço, 2008.)

3.3.6. Flambagem lateral com torção

Cabe ressaltar que a verificação do esforço da flambagem lateral de torção de perfis laminados ou soldados I ou H, como exemplificado pela figura 12, para a determinação do momento fletor resistente de cálculo, é definida do mesmo modo dos esforços FLA e FLM, de acordo com o seu índice de esbeltez.

Logo, seguem as equações das variáveis para a definição do momento fletor resistente de cálculo relacionado flambagem lateral com torção.

$$M_r = W_x(f_y - \sigma_r) \quad (\text{Eq. 39})$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 40})$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27C_w \beta_1^2}{I_y}}} \quad (\text{Eq. 41})$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r)W_x}{E J} \quad (\text{Eq. 42})$$

$$C_w = \frac{I_y(d - t_f)^2}{4} \quad (\text{Eq. 43})$$

Onde:

- Momento de início de escoamento considerando as tensões residuais de torção (Eq. 39);
- Parâmetro de esbeltez limite correspondente a plastificação de torção (Eq. 40);
- Parâmetro de esbeltez limite correspondente ao início do escoamento de torção (Eq. 41);
- Para o M_{pl} foi utilizado a equação (29);
- C_w – Constante do empenamento da seção transversal;
- β_1 – Constante geral.

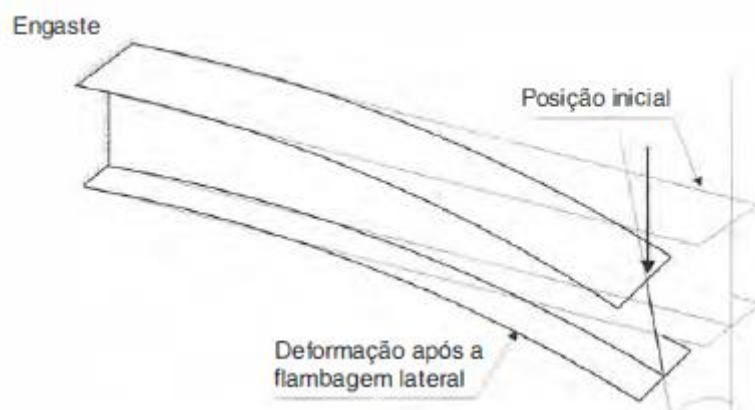


Figura 12 – Flambagem lateral em vigas. (Fonte: Pfeil, 2008.)

3.3.7. Validade de análise elástica

Como todo material possui uma característica elástica de se deformar até certo ponto e voltar ao seu estado inicial, o momento fletor resistente de cálculo possui uma garantia de segurança para manter essa característica e impedir que ocorra o escoamento, limitando-o ao momento resistente:

$$M_{d,res} = \frac{1,5W_x f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Eq. 44})$$

3.3.8. Deslocamento limite

Uma das verificações do estado limite de serviço é a comparação entre a flecha de cálculo e a flecha limite determinado pela norma. O anexo C da NBR 8800 (ABNT, 2008) diz a viga pode ter um deslocamento máximo de $L/350$, porém, como está sendo considerada a presença de alvenaria sobre a viga, seu deslocamento máximo não pode exceder 15mm. Enquanto que a determinação da flecha solicitante é feita através da equação 45, formulada por *Isnard et al* (1971).

$$\delta_{sd} = \frac{5 q L^4}{384 E I_x} \quad (\text{Eq. 45})$$

3.3.9. Força cortante resistente de cálculo (V_{Rd})

De acordo com Pfeil (2009), os esforços cortantes são absorvidos principalmente pelas almas das vigas, desse modo, as almas são dimensionadas com o intuito de restringir sua flambagem. A sua verificação também dependerá de sua esbeltez, causando a necessidade do uso de enrijecedores a depender do perfil, para aumentar sua resistência a flambagem. Assim como o momento resistente de cálculo, para a força cortante também não será considerado para o cálculo as seções esbeltas. Diante disso, a verificação da força cortante resistente de cálculo dos perfis I e H fletidas com relação ao eixo perpendicular da alma, é dada por:

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{ai}}, \text{ para seções compactas } (\lambda \leq \lambda_p) \quad (\text{Eq. 46})$$

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para seções semicompactas } (\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r) \quad (\text{Eq. 47})$$

sendo:

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 48})$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 49})$$

$$V_{pl} = 0,6 A_w f_y \quad (\text{Eq. 50})$$

$$A_w = d t_w \quad (\text{Eq. 51})$$

Onde:

- Parâmetro de esbeltez limite correspondente a plastificação para a cortante (Eq. 48);
- Parâmetro de esbeltez limite correspondente ao início do escoamento para a cortante (Eq.49);
- Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento (Eq. 50);
- Área efetiva de cisalhamento (Eq.51);
- Coeficiente em que $k_v = 5,0$ para alma sem enrijecedores transversais, para $\frac{a}{h} > 3$ ou para $\frac{a}{h} > \left[\frac{260}{h/t_w} \right]^2$ ou $5 + \frac{5}{(a/h)^2}$, para todos os outros casos.

Os perfis laminados, em geral, e alguns perfis soldados possuem altura que atendem a uma fórmula de segurança, de tal maneira que a flambagem da alma por cisalhamento não interfira no dimensionamento do perfil, podendo serem dispensados (Pfeil – Estruturas de aço, 2008). Como este trabalho está realizando o dimensionamento para não esbeltos, o uso de enrijecedores é desnecessário.

3.4. DIMENSIONAMENTO ÓTIMO

Através do método de solução Evolutionary, o Solver irá encontrar o mínimo global para a célula objetivo. Como o intuito é minimizar o custo de produção, que está diretamente relacionada com o peso e área linear da viga, a célula objetivo é a área do perfil com seu mínimo sendo determinado modificando as propriedades geométricas do perfil através das restrições da NBR8800 (ABNT, 2008) descritas pelas equações 18, 19, 20, 21 e 44, e as restrições individuais do perfil. Portanto, para os perfis laminados do tipo W e HP teremos:

$$148 \leq d \leq 661 \quad \{1\}$$

$$100 \leq b_f \leq 324 \quad \{2\}$$

$$4,3 \leq t_w \leq 17,4 \quad \{3\}$$

$$4,9 \leq t_f \leq 22,2 \quad \{4\}$$

Para o perfil soldado VS, teremos:

$$150 \leq d \leq 2000 \quad \{5\}$$

$$100 \leq bf \leq 550 \quad \{6\}$$

$$4,75 \leq t_w \leq 16 \quad \{7\}$$

$$6,3 \leq t_f \leq 44,5 \quad \{8\}$$

E para o perfil soldado CVS, teremos:

$$150 \leq d \leq 1000 \quad \{9\}$$

$$100 \leq bf \leq 700 \quad \{10\}$$

$$4,75 \leq t_w \leq 22,4 \quad \{11\}$$

$$6,3 \leq t_f \leq 44,5 \quad \{12\}$$

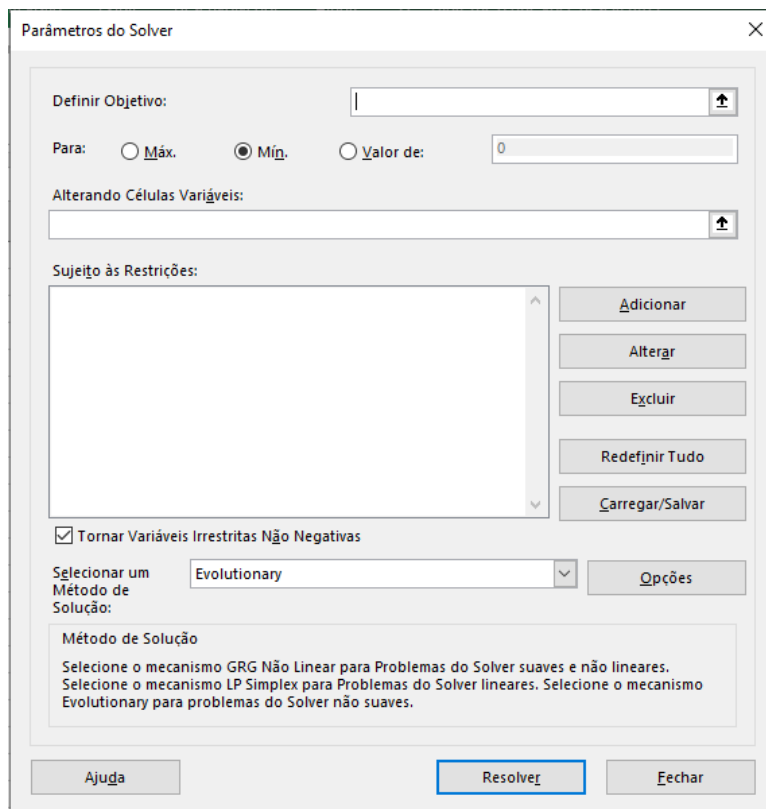


Figura 13 – Caixa de diálogo do Solver. (Fonte: Autoria própria, 2022.)

É pertinente destacar ainda que com a descoberta dos perfis ótimos a partir da minimização da área, é possível determinar o peso linear da barra com o uso do peso específico do aço e com isso o menor custo dentre os perfis otimizados. Pois, quanto menor for o consumo de aço, menor será seu custo de produção.

Todavia, para se obter próximo a realidade, foi utilizado o valor do preço médio dos perfis laminados, adquirido por meio de pesquisas em empresas locais, no qual é de R\$ 13,80 por quilo, que será utilizado também para os perfis soldados. Além da realização do dimensionamento dos perfis pré-fabricados disponíveis pelo catálogo da Gerdau e pela NBR 5884 (ABNT, 2013) para a comparação entre os valores encontrados nos perfis ótimos, como representado pela figura 14.

Dados de Entrada		Carga Utilizada		d		bf		tw		tf		Área		Custo	
Comprimento Ly	6 m	Lado Utilizado	29,3 y	Perfil W	468,96 mm	230,63 mm	4,30 mm	12,27 mm	7916,34 mm ²	R\$ 657,58	Calcular				
Comprimento Lx	6 m	Momento Máximo	131,85 y	Perfil VS	632,62 mm	258,77 mm	4,75 mm	6,31 mm	6493,72 mm ²	R\$ 703,46	Calcular				
Espessura da Laje	12 cm	Momento Utilizado	131,85	Perfil CVS	683,72 mm	261,32 mm	4,75 mm	6,31 mm	6483,30 mm ²	R\$ 702,34	Calcular				
Altura da Alvenaria	2,6 m														
Espessura da Alvenaria	15 cm														
Revestimento	Sim														
Carga Acidental	7,5 kN/m ²														
Peso da Viga	150 Kg/m														
ASTM A36	250														
Laje		Viga		d		bf		tw		tf		Área		Custo	
Área de Influência Ay	9,00 m ²	Q _{Ly}	20,7 kN/m	W 310 x 52,0	317,00 mm	167,00 mm	7,60 mm	13,20 mm	6700,00 mm ²	R\$ 725,81					
Área de Influência Ax	9,00 m ²	Q _{Lx}	20,7 kN/m	350 x 42	350,00 mm	200,00 mm	4,75 mm	9,50 mm	5370,00 mm ²	R\$ 581,73					
P. P. da Laje	4,2 kN/m ²	Peso Alvenaria	7,1 kN/m	300 x 55	300,00 mm	250,00 mm	8,00 mm	9,50 mm	7000,00 mm ²	R\$ 758,31					
Revestimento	2,1 kN/m ²	P. P. da Viga	1,5 kN/m												
Carga Total na Laje	13,8 kN/m ²	Viga de Extremidade Ly	29,3 kN/m												
		Viga de Extremidade Lx	29,3 kN/m												
		Viga Intermediária Ly	50,0 kN/m												
		Viga Intermediária Lx	50,0 kN/m												

Figura 14 – Planilha de otimização para perfis tipo I. (Fonte: Autoria própria, 2022.)

3.5. CÁLCULO DAS CARGAS

Nesta seção serão relatadas as cargas aplicadas sobre a laje para cada tipo de ação acidental e seus resultados obtidos para os perfis a partir da otimização com o

Solver, juntamente com seu perfil mais aproximado, de acordo com os perfis disponíveis pelos anexos, para suportar a mesma solicitação de carga.

De forma a facilitar a construção da planilha e a obtenção de dados, está sendo considerado que a laje utilizada no projeto seja uma laje mista quadrada com carregamento uniformemente distribuído e com l_x de 6 metros, como a laje estará apoiada sobre a viga, seus apoios serão do mesmo tipo, fazendo com que sua área de influência seja traçada com 45° a partir do vértice. Desse modo, para uma laje 6x6 m, teremos como área de influência de 9 m² para cada lado.

Para o cálculo da carga permanente, faz-se o uso de coeficientes de ponderação de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008) para majorar as cargas, dessa forma, vamos ter a tabela 2 indicando o valor do coeficiente para cada ação e as cargas presentes no trabalho.

Tabela 2 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{a,c}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)

Fonte: NBR 8800, 2008.

Desse modo, usaremos o valor de 1,25 para o peso próprio da viga, representado pela equação 52, e de 1,4 para os demais valores das cargas, mostrado pelas equações 53, 54 e 55.

$$\text{Peso próprio da viga} = 1,2 \text{ kN/m} \times 1,25 = 1,5 \text{ kN/m} \quad (\text{Eq. 52})$$

$$\text{Alvenaria} = 2,6\text{m} \times 13\text{kN/m}^3 \times 0,15\text{m} \times 1,4 = 7,1 \text{ kN/m} \quad (\text{Eq. 53})$$

$$\text{Peso próprio da laje} = 0,12\text{m} \times 25\text{kg/m}^2 \times 1,4 = 4,2 \text{ kN/m} \quad (\text{Eq. 54})$$

$$\text{Revestimento} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \times 1,4 = 2,1 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Eq. 55})$$

A determinação da carga da laje que passará para viga será a carga acidental para cada local, mais o peso próprio da laje e seu revestimento, em função da área de influência, e como está sendo considerado lajes quadradas com apoios do mesmo tipo, as reações de apoio que serão transferidas para a viga, é dada a partir da equação a seguir:

$$Q_L = \frac{qA_x}{l_x} \quad (\text{Eq. 56})$$

Onde:

- Q_L – Valor da carga passada da laje para a viga;
- q – Carga aplicada sobre a laje;
- A_x – Área de influência do lado desejado;
- l_x – Vão da viga do lado desejado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. OTIMIZAÇÃO PARA LOCAIS COM CARGA DE 7,5 kN/m²

Conforme a NBR 6120 (ABNT, 2019), os locais que possuem esse valor são depósitos, portanto, a carga que será aplicada sobre a laje será de:

$$q = \text{Carga Var.} + \text{P. Laje} + \text{Rev.} = 7,5\text{kN/m}^2 + 4,2\text{kN/m}^2 + 2,1\text{kN/m}^2 = 13,8\text{kN/m}^2 \quad (\text{Eq.57})$$

Desse modo, utilizando o carregamento uniforme descoberto para a laje na equação 56 e somando com os valores da alvenaria e peso do perfil, vamos ter uma carga de projeto distribuída sobre a vida de 29,3 kN/m a ser utilizada no dimensionamento. Com isso, utilizando a fórmula do momento máximo e cortante máxima definidas pelas equações 22 e 23, teremos os seguintes valores para vigas de extremidade e intermediárias mostradas pela tabela 3.

Tabela 3 – Valores dos momentos e cortantes de projetos com carga de 7,5 kN/m².

	Carga	$M_{\text{máx}}$	$V_{\text{máx}}$
Extremidade	29.3 kN/m	131.8 kNm	87.9 kN
Intermed.	50.0 kN/m	225.0 kNm	150.0 kN

Fonte: Autoria própria, 2022.

Utilizando valores dos momentos citados para o dimensionamento, teremos a tabela 4 para os perfis otimizados e a tabela 5 para os perfis pré-fabricados, com suas propriedades para vigas de extremidade.

Tabela 4 – Propriedades dos perfis otimizados para a carga de 29,3 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
Perfil W	412.86 mm	233.15 mm	4.30 mm	5.81 mm	4780.05 mm ²	R\$ 3106,86
Perfil VS	610.19 mm	220.26 mm	4.75 mm	6.30 mm	5613.78 mm ²	R\$ 3648,84
Perfil CVS	610.19 mm	220.26 mm	4.75 mm	6.30 mm	5613.78 mm ²	R\$ 3648,84

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 5 – Propriedades dos perfis pré-fabricados para a carga de 29,3 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
W 410 x 53,0	403.00 mm	177.00 mm	7.50 mm	10.90 mm	6840.00 mm ²	R\$ 4445,88

VS 350 x 42	350.00 mm	200.00 mm	4.75 mm	9.5 mm	5370.00 mm ²	R\$ 3490,38
CVS 300 x 55	300.00 mm	250.00 mm	8.00 mm	9.50 mm	7000.00 mm ²	R\$ 4687,86

Fonte: Aatoria própria, 2022.

E usando os valores para as vigas intermediárias, vamos ter a tabela 6 para os perfis otimizados e a tabela 7 para os perfis pré-fabricados.

Tabela 6 – Propriedades dos perfis otimizados para a carga de 50 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
Perfil W	495.85 mm	258.51 mm	4.30 mm	7.15 mm	6112.73 mm ²	R\$ 3973,14
Perfil VS	589.01 mm	247.01 mm	4.75 mm	6.30 mm	5850.89 mm ²	R\$ 3802,98
Perfil CVS	588.23 mm	247.27 mm	4.75 mm	6.30 mm	5849.86 mm ²	R\$ 3802,26

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Tabela 7 – Propriedades dos perfis pré-fabricados para a carga de 50 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
W 360 x 72,0	350.00 mm	204.00 mm	8.60 mm	15.10 mm	9130.00 mm ²	R\$ 5934,30
VS 450 x 59	450.00 mm	250.00 mm	6.30 mm	9.50 mm	7470.00 mm ²	R\$ 4855,32
CVS 350 x 73	350.00 mm	250.00 mm	9.50 mm	12.50 mm	9340.0 mm ²	R\$ 6070,80

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Analisando os resultados obtidos para essas cargas, é perceptível a diferença de custo entre o perfil otimizado e os dimensionados para essa solicitação, demonstrando serem mais econômicos.

4.2. OTIMIZAÇÃO PARA LOCAIS COM CARGA DE 6 kN/m²

Os locais que precisam ser dimensionados para esse tipo de carga acidental são bibliotecas, com isso, a carga aplicada sobre a laje está representado pela equação 58.

$$q = \text{Carga Var.} + \text{P. Laje} + \text{Rev.} = 6 \text{ kN/m}^2 + 4,2 \text{ kN/m}^2 + 2,1 \text{ kN/m}^2 = 12,3 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Eq. 58})$$

Fazendo o uso do mesmo método feito no tópico anterior, teremos os valores de carga, momento e cortante máximos representados pela tabela 8.

Tabela 8 – Valores dos momentos e cortantes de projetos com carga de 6 kN/m².

	Carga	M_{máx}	V_{máx}
Extremidade	27.0 kN/m	121.7 kNm	81.1 kN
Intermed.	45.5 kN/m	204.7 kNm	136.5 kN

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Realizando a otimização pelo solver e com a comparação com os perfis disponíveis, vamos ter a representação das propriedades dos perfis para vigas de extremidade pela tabela 9 e 10, e para as vigas intermediária são as tabelas 11 e 12.

Tabela 9 – Propriedades dos perfis otimizados para a carga de 27 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
--	----------	-----------	-----------	-----------	-------------	--------------

Perfil W	426.35 mm	226.71 mm	4.30 mm	5.40 mm	4578.91 mm ²	R\$ 2958,18
-----------------	-----------	-----------	---------	---------	-------------------------	-------------

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 10 – Propriedades dos perfis pré-fabricados para a carga de 27 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
VS 400 x 39	400.00 mm	200.00 mm	4.75 mm	8.00 mm	5020.00 mm ²	R\$ 3262,92

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 11 – Propriedades dos perfis otimizados para a carga de 45,5 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
Perfil W	568.95 mm	245.18 mm	4.30 mm	5.96 mm	5660.17 mm ²	R\$ 3678,96

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 12 – Propriedades dos perfis pré-fabricados para a carga de 45,5 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
VS 450 x 59	450.00 mm	250.00 mm	6.30 mm	9.50 mm	7470.00 mm ²	R\$ 4855,32

Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir desses resultados obtidos, conseguimos analisar que o perfil W possui uma diferença muito pequena sobre os outros perfis durante a otimização para uma carga de 45,5 kN/m, mas que irá se sobressair para cargas abaixo desse valor. Contudo, os perfis soldados VS demonstram uma superioridade sobre o custo de produção em relação aos perfis pré-fabricados disponíveis.

4.3. OTIMIZAÇÃO PARA LOCAIS COM CARGA DE 5 kN/m²

Convém ainda expor que os locais que possuem esse valor de carga acidental são salões de dança, salões de esporte, ginásios e palcos de teatro, portanto, a carga da laje solicitada sobre a viga é de:

$$q = \text{Carga Var.} + \text{P. Laje} + \text{Rev.} = 5 \text{ kN/m}^2 + 4,2 \text{ kN/m}^2 + 2,1 \text{ kN/m}^2 = 11,3 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Eq.59})$$

Utilizando os métodos anteriores, vamos ter para as solicitações de momento máximo e cortante máxima:

Tabela 13 – Valores dos momentos e cortantes de projetos com carga de 5 kN/m².

	Carga	M_{máx}	V_{máx}
Extremidade	25.5 kN/m	115.0 kNm	76.6 kN
Intermed.	42.5 kN/m	191.2 kNm	127.5 kN

Fonte: Autoria própria, 2022.

Através do solver, as características geométricas do perfil ótimo para as vigas de cada perfil serão:

Tabela 14 – Propriedades dos perfis otimizados para a carga de 25,5 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
Perfil W	445.06 mm	221.76 mm	4.30 mm	5.04 mm	4450.02 mm ²	R\$ 2892,42

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 15 – Propriedades dos perfis pré-fabricados para a carga de 25,5 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
VS 400 x 39	400.00 mm	200.00 mm	4.75 mm	8.00 mm	5020.00 mm ²	R\$ 3262,92

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Tabela 16 – Propriedades dos perfis otimizados para a carga de 42,5 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
Perfil W	499.84 mm	247.47 mm	4.30 mm	6.35 mm	5582.75 mm ²	R\$ 3628,68

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Tabela 17 – Propriedades dos perfis pré-fabricados para a carga de 42,5 kN/m

	d	bf	tw	tf	Área	Custo
VS 400 x 53	400.00 mm	200.00 mm	4.75 mm	12.50 mm	6780.00 mm ²	R\$ 4406,88

Fonte: Aatoria própria, 2022.

É pertinente destacar que do mesmo modo que se procedeu para a otimização com carga acidental de 6 kN/m², para essa carga os resultados também estão propensos para a melhor opção ser os perfis W otimizados e os perfis VS pré-fabricados. Isso ocorre pelo fato de possuírem menores áreas que os outros perfis e conforme reduz a carga aplicada, fica ainda mais visível.

5. CONCLUSÕES

Diante da análise exposta dos resultados obtidos pela otimização com o uso do Solver, é possível observar que o perfil laminado irá sobressair-se em relação ao perfil soldado para solicitações de carga que não ultrapassem o valor 42.5 kN/m, devido as condições de sua geometria. Ademais, acima desse valor, o perfil soldado tende a se sair superior em relação ao perfil laminado, devido ao fato que suas propriedades geométricas proporcionam um melhor aproveitamento para essas cargas.

Para mais, é passível pontuar que o fato acima mencionado ocorre em decorrência do programa reduzir a espessura da alma e aumentar o comprimento da mesa como forma de obter um maior momento de inercia, reduzindo assim a área e com isso, o custo. Em razão disso, todos os perfis otimizados tiveram sua espessura da alma padronizados para o mínimo. Percebe-se também que os perfis obtidos tendem ao padrão de perfil I, já que esse tipo de geometria possui um momento de inercia alto em relação ao eixo x.

Enquanto na análise dos perfis pelo uso do solver mostraram uma diferença no tipo de perfil ótimo conforme o aumento da carga, nos valores dos perfis tabelados pela NBR 5884 (ABNT, 2013) e Gerdau para as mesmas solicitações de carga, mostraram que o perfil soldado do tipo VS é a melhor escolha em todas as solicitações estudadas.

Esse fato ocorre devido a geometria do perfil VS priorizar sua altura enquanto mantém a espessura da alma sempre baixa. Ao passo que o perfil CVS possui características de um perfil H, mantendo sua altura e largura da mesa sempre proporcionais, e o perfil W procura compensar aumentando as espessuras para a alma e a mesa, buscando manter um equilíbrio entre as propriedades do perfil.

Devido ao caso do método Evolutionary ser um mecanismo de solução para problemas não suaves, onde são determinados a partir de funções em que os resultados variam de forma brusca. Pode vir de acontecer desse método encontrar soluções locais, que foi o que aconteceu algumas vezes neste trabalho, no qual devido

as restrições, os valores se tornaram iguais a partir de um tipo de solicitação, mesmo existindo soluções melhores.

Portanto, diante do que foi pontuado, chegamos à conclusão que os perfis otimizados irão se sair superiores aos pré-fabricados, assim sendo, concluímos que seu uso expressa uma considerável vantagem, uma vez que os perfis soldados podem ser construídos em qualquer dimensão, deixando seu uso mais rápido e prático. Ou seja, para solicitações em que o perfil soldado otimizado seria a melhor opção, pode-se encomendar a construção de perfis com essas dimensões ótimas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5884: **Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6120: **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT - 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.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR15980: **Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias**. Rio de Janeiro, 2011.

ALVES, E. C., **Análise de Sensibilidade e Otimização de Estruturas Submetidas a Vibrações Aleatórias**, Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos – SP, Brasil, 2002.

A HISTÓRIA DO AÇO E SUAS APLICAÇÕES. Monferrato, Morro da Fumaça – SC, 21 de outubro de 2019. Disponível em: <<https://monferrato.com.br/a-historia-do-aco-e-suas-aplicacoes/>>. Acesso em: 22 de out 2022.

CORTEZ, L. A. da R.; MARCIEL, C. A. dos S.; SANTOS, P. B.; LIMA, R. T.; SANTOS, T. M. F. dos; NASCIMENTO, M. M. G. do. **Uso das Estruturas de Aço no Brasil**. Ciências Exatas e Tecnológicas., v. 4, n. 2, p. 217-228, novembro 2017.

GERDAU. **Construção Metálica: rapidez e qualidade**. Disponível em <https://www2.gerdau.com.br/sobre-nos/>. Acesso em: 19 out. 2022

GERDAU. Perfis Estruturais Gerdau – Tabela de bitolas. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/blog-do-aco/publication-category/tabelas/>. Acesso em: 23 out 2022.

GERDAU. Perfis Estruturais Gerdau – Informações técnicas. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/publicacao/perfis-estruturais-gerdau-informacoes-tecnicas/>>. Acesso em: 28 out. 2022.

HISTÓRIA DA METÁLICA. SenteQ, Barueri – SP, 5 mai. 2015. Disponível em: <<http://www.senteq.net/estrutura-metalica/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MAIA, Joao Paulo Ribeiro. **Otimização estrutural**: estudo e aplicações em problemas clássicos de vigas utilizando a ferramenta Solver. 2009. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2009.

PEREIRA, S. C. N. **Dimensionamento Otimizado de Perfis Metálicos Reconstituídos Soldados**, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto – Portugal, 2019.

PFEIL, W. **Estruturas de aço: dimensionamento pratico de acordo com a NBR 8800:2008. 8. ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2009.

SANTOS, A. A. C.; FONSECA, R. B. de; ALVES, D. F. **Otimização de vigas metálicas biapoiadas conforme a NBR 8800 (ABNT 2008)**. Ciências Exatas e Tecnológicas., v. 6, n. 1, p. 135-154, março 2020.

LAZZARI, J. A. de; ALVES, E. C. **Dimensionamento Otimizado de Perfis Laminados I**. Engenharia Estudo e Pesquisa, v.17, p. 17-30, 2017.

ISNARD, V.; GREKOW, A.; MROZOWICZ, P. **Formulario del Ingeniero: Metodos practicos de calculo de obras de ingenieria**. 1. ed. Bilbao: Artes Gráficas Grijelmo, S. A., 1976.

Anexos 3

Tabela B2 Perfis soldados Série CVS

PERFIL	MASSA m kg/m	ÁREA A cm ²	ALT. d mm	ALUMA		MEDIAS		EXO X-X		EXO Y-Y		IT	IT	Cw	h _{hw}	b _{2ZF}	d _{inf}	ec	u	w _A				
				lw	h	lf	lf	lx	ly	Wx	rx										Zx	Wy	ry	Zy
150 x 15	15	19,1	150	4,75	137	6,3	100	771	103	6,35	113	105	21	2,34	32	2,67	2,2	5421	29	7,9	2,381	3	0,69	361
150 x 18	17,6	22,4	150	4,75	134	8	100	903	120	6,35	135	133	27	2,44	41	2,71	3,9	6721	28	6,3	1,875	5	0,69	308
150 x 20	19,8	25,2	150	4,75	131	9,5	100	1028	137	6,39	154	158	32	2,5	48	2,74	6,2	7814	28	5,3	1,579	5	0,69	274
150 x 22	21,7	27,6	150	6,3	134	6	120	1095	146	6,3	165	231	39	2,89	59	3,24	5,3	11614	21	7,5	1,303	5	0,77	279
150 x 24	24,4	31,1	150	6,3	131	9,5	120	1245	166	6,33	187	274	46	2,97	70	3,27	8	13502	21	6,3	1,316	5	0,77	248
200 x 21	20,8	26,5	200	4,75	187	6,3	140	1963	196	8,61	212	288	41	3,3	63	3,74	3	22025	39	11,1	2,208	3	0,95	358
200 x 24	24,4	31,1	200	4,75	184	8	140	2312	231	8,62	255	368	52	3,43	79	3,8	5,5	33718	39	8,8	1,786	5	0,95	305
200 x 28	27,6	35,2	200	4,75	181	9,5	140	2650	285	8,68	292	435	62	3,52	94	3,84	8,7	39417	38	7,4	1,504	5	0,95	270
200 x 27	26,7	34	200	6,3	184	8	140	2393	239	8,39	268	366	52	3,28	80	3,73	6,4	33718	29	8,8	1,786	5	0,95	279
200 x 30	29,8	38	200	6,3	181	9,5	140	2727	273	8,47	305	435	62	3,38	96	3,78	9,6	39417	29	7,4	1,504	5	0,95	250
200 x 36	35,1	46	200	6,3	175	12,5	140	3362	336	8,55	376	572	82	3,53	124	3,85	19,8	50244	28	5,6	1,143	5	0,95	207
200 x 38	38,5	46	200	8	175	12,5	140	3438	344	8,38	389	572	82	3,42	125	3,8	21,4	50244	22	5,6	1,143	5	0,94	192
200 x 46	45,7	62,2	200	8	168	16	140	4118	412	8,41	469	732	105	3,55	159	3,85	41,4	61934	21	4,4	0,893	6	0,94	162
250 x 30	30,1	38,3	250	4,75	204	8	170	4491	359	10,83	394	655	77	4,14	117	4,6	6,7	95908	49	10,6	1,838	5	1,17	305
250 x 33	32,9	41,9	250	6,3	204	8	170	4656	372	10,54	415	656	77	3,96	118	4,52	7,8	95908	37	10,6	1,838	5	1,17	279
250 x 40	39,9	50,8	250	8	201	9,5	170	5495	440	10,4	495	779	92	3,92	141	4,5	13,8	112464	29	9,9	1,548	5	1,16	228
250 x 47	47,5	60,5	250	8	225	12,5	170	6758	541	10,57	606	1025	121	4,12	184	4,59	26,2	144335	28	6,8	1,176	5	1,16	192
250 x 56	56,4	71,8	250	8	218	16	170	8149	652	10,65	732	1311	154	4,27	238	4,67	50,4	179344	27	5,3	0,919	6	1,16	162
250 x 64	64,1	81,7	250	12,5	218	16	170	8538	683	10,22	785	1314	155	4,01	240	4,54	61,7	179344	17	5,3	0,919	6	1,16	142
250 x 72	71,5	91,1	250	12,5	212	19	170	9830	770	10,28	887	1559	183	4,14	283	4,6	92,8	207545	17	4,5	0,774	6	1,16	127
300 x 47	47,5	60,5	300	8	281	9,5	200	9499	633	12,53	710	1268	127	4,56	194	5,26	16,4	267236	35	10,5	1,579	5	1,38	228
300 x 57	56,5	72	300	8	275	12,5	200	11725	782	12,76	870	1668	163	4,81	254	5,39	30,9	344401	34	8	1,2	5	1,38	192
300 x 67	67	85,4	300	8	268	16	200	14202	947	12,9	1052	2134	213	5	324	5,48	59,5	430165	34	6,3	0,938	6	1,38	162
300 x 70	70,3	86,5	300	9,5	268	16	200	14442	963	12,7	1079	2135	214	4,86	328	5,43	62,7	430165	28	6,3	0,938	6	1,38	154
300 x 79	79,2	100,9	300	9,5	262	19	200	16449	1097	12,77	1231	2535	254	5,01	396	5,48	99,5	500086	28	5,3	0,789	6	1,38	137
300 x 85	85,4	103,8	300	12,5	262	19	200	16899	1127	12,46	1282	2538	254	4,83	390	5,4	109,7	500086	21	5,3	0,789	6	1,38	127
300 x 95	95,4	121,5	300	12,5	265	22,4	200	19092	1273	12,54	1447	2991	299	4,96	458	5,46	167,9	575394	20	4,5	0,67	8	1,38	114
300 x 55	55	70	300	8	281	9,5	250	11504	767	12,82	848	2475	198	5,95	301	6,71	19,2	521945	35	13,2	1,263	5	1,58	226
300 x 66	66,3	84,5	300	8	275	12,5	250	14310	954	13,01	1050	3256	260	6,21	396	6,83	37,5	672658	34	10	0,96	5	1,58	187
300 x 80	79,6	101,4	300	8	268	16	250	17432	1162	13,11	1290	4168	333	6,41	504	6,91	73,1	840167	34	7,8	0,75	6	1,58	156
300 x 83	82,8	105,5	300	9,5	268	16	250	17672	1178	12,94	1307	4169	334	6,29	506	6,86	76,4	840167	28	7,8	0,75	6	1,58	150
300 x 94	94,1	119,9	300	9,5	262	19	250	20206	1347	12,96	1498	4950	396	6,42	600	6,92	122,3	976731	28	6,6	0,632	6	1,58	132
300 x 100	100,3	127,8	300	12,5	262	19	250	20655	1377	12,71	1549	4952	396	6,22	604	6,84	132,6	976731	21	6,6	0,632	6	1,58	124
300 x 113	113	143,9	300	12,5	265	22,4	250	23433	1562	12,76	1758	5837	467	6,37	710	6,9	205,4	1123817	20	5,6	0,536	8	1,58	110

Anexos 4

Tabela B2 (continuação)

PERFIL	MASSA kg/m	AREA cm ²	ALT. ALMA		MIDAS		EXO X - X			EXO Y - Y			IT	Cw	Ihw	Iyoz	dlat	ec	u	wA				
			d	tw	h	tf	bf	lx	Wx	ix	ly	Wy									iy	Zy		
350 x 73	73,3	93,4	350	9,5	325	12,5	250	20524	1173	14,82	1306	3258	261	5,91	398	6,69	42,2	926971	34	10	1,12	5	1,68	180
350 x 87	86,5	110,6	350	9,5	318	16	250	24874	1421	15,02	1576	4169	334	6,15	507	6,8	77,8	182042	33	7,8	0,875	6	1,68	152
350 x 98	97,8	124,6	350	9,5	312	19	250	28454	1626	15,11	1803	4950	396	6,3	601	6,87	123,8	1355247	33	6,6	0,737	6	1,68	136
350 x 105	105,2	134	350	12,5	312	19	250	29213	1689	14,77	1876	4953	396	6,08	606	6,77	135,9	1355247	25	6,6	0,737	6	1,68	125
350 x 116	117,8	150,1	350	12,5	305	22,4	250	33169	1895	14,87	2125	5838	467	6,24	712	6,84	206,7	185109	24	5,6	0,625	8	1,68	112
350 x 128	127,6	162,5	350	12,5	300	25	250	35885	2051	14,86	2313	6515	521	6,33	793	6,88	281,6	1719157	24	5	0,56	8	1,68	103
350 x 136	135,8	173	350	16	300	25	250	39873	2096	14,56	2391	6521	522	6,14	800	6,8	304,8	1719157	19	5	0,56	8	1,87	97
400 x 82	82,4	105	400	8	375	12,5	300	33980	1584	17,37	1734	5627	375	7,32	569	8,14	45,7	2111572	47	12	1,067	5	1,98	189
400 x 87	86,8	110,6	400	9,5	375	12,5	300	33039	1617	17,1	1787	5628	375	7,13	571	8,05	30,1	2111572	39	12	1,067	5	1,98	179
400 x 103	102,8	131	400	9,5	368	16	300	36355	1968	17,33	2165	7203	480	7,42	728	8,18	92,9	2854208	39	9,4	0,833	6	1,98	151
400 x 116	116,5	148,4	400	9,5	362	19	300	45161	2258	17,44	2483	8553	570	7,59	863	8,26	146,1	3102816	38	7,9	0,702	6	1,98	133
400 x 125	126,1	159,3	400	12,5	362	19	300	46947	2317	17,06	2581	8556	570	7,33	809	8,14	162	3102816	29	7,9	0,702	6	1,98	124
400 x 140	140,4	178,8	400	12,5	355	22,4	300	52813	2641	17,19	2931	10086	672	7,51	1022	8,22	249,4	3930660	26	6,7	0,595	8	1,98	111
400 x 152	152,1	193,8	400	12,5	350	25	300	57279	2864	17,19	3195	11256	750	7,62	1139	8,27	336,9	3930660	28	6	0,533	8	1,98	102
400 x 162	161,7	206	400	16	350	25	300	58629	2926	16,86	3303	11262	751	7,39	1147	8,17	363,7	3930660	22	6	0,533	8	1,97	96
450 x 116	116,4	148,3	450	12,5	418	16	300	52834	2348	18,87	2629	7207	480	6,97	736	7,97	110,2	3390408	33	9,4	0,938	6	2,08	140
450 x 130	129,9	165,5	450	12,5	412	19	300	60261	2678	19,08	2967	8557	570	7,19	871	8,07	166,2	3970641	33	7,9	0,789	6	2,08	126
450 x 141	141,2	179,9	450	16	412	19	300	62301	2769	18,61	3136	8564	571	6,9	881	7,93	196	3970641	26	7,9	0,789	6	2,07	115
450 x 156	156,4	199,2	450	16	405	22,4	300	70595	3138	18,83	3530	10094	673	7,12	1034	8,04	283,2	4807612	25	6,7	0,67	8	2,07	104
450 x 168	168	214	450	16	400	25	300	78946	3393	18,89	3828	11264	751	7,26	1151	8,1	370,5	5080078	25	6	0,6	8	2,07	97
450 x 177	177,4	226	450	19	400	25	300	77946	3464	18,57	3948	11273	752	7,06	1161	8,01	409,7	5080078	21	6	0,6	8	2,06	91
450 x 188	188,1	239,6	450	22,4	400	25	300	79759	3545	18,25	4068	11287	752	6,86	1175	7,91	471,7	5080078	18	6	0,6	8	2,06	86
450 x 206	206,1	262,5	450	19	387	31,5	300	92888	4093	18,73	4666	14197	946	7,35	1452	8,15	720,8	6206603	20	4,8	0,476	8	2,06	78
450 x 216	216,4	275,7	450	22,4	387	31,5	300	93730	4166	18,44	4794	14211	947	7,18	1466	8,07	781,9	6206603	17	4,8	0,476	8	2,06	75
500 x 123	122,9	156,5	500	9,5	468	16	350	73730	2949	21,71	3231	11437	654	8,55	991	9,5	108,4	6865817	49	10,9	0,893	6	2,38	152
500 x 134	133,8	170,5	500	12,5	468	16	350	76293	3052	21,15	3395	11441	654	8,19	998	9,33	127,1	6693817	37	10,9	0,893	6	2,38	140
500 x 150	149,8	190,8	500	12,5	462	19	350	87240	3490	21,38	3866	13585	776	8,44	1162	9,44	191,4	7833019	37	9,2	0,752	6	2,38	125
500 x 162	162,4	206,9	500	16	462	19	350	90116	3605	20,87	4052	13593	777	8,11	1193	9,28	225,7	7833019	29	9,2	0,752	6	2,37	115
500 x 180	180,2	229,6	500	16	455	22,4	350	102403	4096	21,12	4572	16022	916	8,35	1401	9,4	327,5	9127872	28	7,8	0,638	8	2,37	103
500 x 194	193,9	247	500	16	450	25	350	110952	4438	21,19	4966	17880	1022	8,51	1500	9,46	429,4	10076742	28	7	0,571	8	2,37	96
500 x 204	204,5	260,5	500	19	450	25	350	113230	4529	20,85	5118	17890	1022	8,29	1572	9,37	473,2	10076742	24	7	0,571	8	2,36	91
500 x 217	216,5	275,8	500	22,4	450	25	350	115812	4632	20,49	5290	17907	1023	8,06	1588	9,26	542,5	10076742	20	7	0,571	8	2,36	86
500 x 238	238,2	303,5	500	19	437	31,5	350	134391	5376	21,04	6072	22534	1288	8,62	1909	9,53	836,4	12351583	23	5,6	0,454	8	2,36	78
500 x 250	249,9	318,4	500	22,4	437	31,5	350	130755	5470	20,72	6235	22550	1289	8,42	1984	9,43	904,8	12351583	20	5,6	0,454	8	2,36	74
500 x 259	259,9	329,8	500	25	437	31,5	350	136564	5543	20,5	6359	22566	1289	8,27	1998	9,36	973,3	12351583	17	5,6	0,454	8	2,35	71
500 x 281	280,8	357,7	500	22,4	425	37,5	350	150013	6201	20,82	7082	26837	1554	8,66	2350	9,55	1403,7	14330048	19	4,7	0,381	8	2,36	66
500 x 317	316,8	403,6	500	22,4	411	44,5	350	175049	7002	20,83	8040	31837	1819	8,88	2777	9,84	2298,8	16194140	18	3,9	0,321	8	2,38	58

Anexos 5

Tabela B2 (continuação)

PERFIL	MASSA kg/m	AREA cm ²	ALT. mm	ALMA mm	b mm	h mm	MIDAS		EIXO X - X			EIXO Y - Y			I _T cm ⁴	I _T cm ⁴	C _w cm ³	I _{NW} cm ⁴	b ₂ /2t	d _{int} mm	ec mm	u mm ² /m	w/A m ²	
							t mm	h ₀ mm	I _x cm ⁴	W _x cm ³	α cm	Δx cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³										β cm
550 x 184	183,6	233,9	550	16	512	19	400	126087	4649	23,13	5084	20284	1014	9,31	1553	10,63	256,4	14286024	32	10,5	0,724	6	2,67	114
550 x 204	204,1	260	550	16	505	22,4	400	142463	5160	23,41	5747	23911	1166	9,59	1824	10,77	371,0	18627476	32	8,9	0,614	8	2,67	103
550 x 220	219,8	286	550	16	500	25	400	154583	5621	23,5	6250	26984	1334	9,76	2032	10,85	486,3	18375000	31	8	0,55	8	2,67	95
550 x 232	231,6	296	550	19	500	25	400	157708	5735	23,12	6438	26666	1335	9,51	2045	10,73	536,7	18375000	26	8	0,55	8	2,66	90
550 x 245	244,9	312	550	22,4	500	25	400	161250	5964	22,73	6650	26713	1306	9,25	2063	10,6	613,4	18375000	22	8	0,55	8	2,66	85
550 x 270	270,4	344,5	550	19	487	31,5	400	187987	6832	22,35	7680	33928	1681	9,88	2564	10,9	952	22582749	26	6,3	0,437	8	2,66	77
550 x 283	283,5	361,1	550	22,4	487	31,5	400	191139	6951	23,01	7861	33946	1682	9,65	2581	10,8	1027,7	22582749	22	6,3	0,437	8	2,66	74
550 x 293	293,4	373,8	550	25	487	31,5	400	192642	7042	22,76	8015	33963	1683	9,49	2596	10,72	1103,5	22582749	19	6,3	0,437	8	2,65	71
550 x 319	319	400,4	550	22,4	475	37,5	400	217349	7604	23,13	8951	40044	2002	9,93	3060	10,92	1598,3	20265625	21	5,3	0,367	8	2,66	65
550 x 329	328,8	418,8	550	25	475	37,5	400	219871	7688	22,9	9098	40062	2003	9,78	3074	10,86	1673,2	20265625	19	5,3	0,367	8	2,65	63
550 x 361	360,6	496,3	550	22,4	461	44,5	400	246298	8956	23,16	10188	47510	2376	10,17	3618	11,03	2539,3	30329223	21	4,5	0,309	8	2,66	58
550 x 370	370	471,3	550	25	461	44,5	400	248420	9033	22,96	10326	47527	2376	10,04	3632	10,97	2613,2	30329223	18	4,5	0,309	8	2,65	56
600 x 156	156,2	199	600	12,5	568	16	400	128254	4275	25,39	4746	17076	854	9,26	1302	10,61	147,2	14651723	45	12,5	0,938	6	2,78	140
600 x 190	189,9	241,9	600	16	562	19	400	151986	5066	25,07	5679	20286	1014	9,16	1556	10,55	262,2	17103091	35	10,5	0,789	6	2,77	115
600 x 210	210,4	266	600	16	555	22,4	400	170948	5765	25,4	6407	23912	1166	9,45	1828	10,7	376,6	19628340	35	8,9	0,67	8	2,77	103
600 x 226	226,1	286	600	16	550	25	400	187600	6253	25,52	6960	26685	1334	9,63	2035	10,78	486,2	22041667	34	8	0,6	8	2,77	96
600 x 239	239	304,5	600	19	550	25	400	191759	6392	25,09	7167	26686	1305	9,36	2050	10,66	546,1	22041667	29	8	0,6	8	2,76	91
600 x 278	277,9	354	600	19	537	31,5	400	228338	7611	25,4	8533	33631	1682	9,75	2568	10,84	963,5	27148149	28	6,3	0,476	8	2,76	78
600 x 292	292,3	372,3	600	22,4	537	31,5	400	232726	7756	25	8778	33650	1683	9,51	2587	10,73	1068,5	27148149	24	6,3	0,476	8	2,76	74
600 x 328	327,8	417,6	600	22,4	525	37,5	400	264668	8522	25,18	9681	40049	2002	9,79	3066	10,86	1617	31640625	23	5,3	0,4	8	2,76	66
600 x 339	338,8	431,3	600	25	525	37,5	400	267803	8627	24,92	10100	40068	2003	9,64	3082	10,79	1699,2	31640625	21	5,3	0,4	8	2,75	64
600 x 369	369,3	470,5	600	22,4	511	44,5	400	300131	10004	25,26	11350	47515	2376	10,05	3624	10,98	2568	36618190	23	4,5	0,337	8	2,76	59
650 x 211	211,1	268,9	650	16	612	19	450	206028	6179	27,33	6689	26677	1263	10,36	1663	11,91	291,9	26723583	38	11,8	0,76	6	3,07	114
650 x 234	234,2	296,4	650	16	605	22,4	450	228951	7045	27,7	7790	34041	1513	10,68	2307	12,06	422,9	33696644	38	10	0,645	6	3,07	103
650 x 252	252	321	650	16	600	25	450	248644	7651	27,83	8471	37989	1688	10,88	2570	12,16	554,1	37078857	38	9	0,578	8	3,07	96
650 x 266	266,1	339	650	19	600	25	450	254044	7817	27,38	8741	38003	1689	10,59	2585	12,02	611,6	37078857	32	9	0,578	8	3,06	90
650 x 282	282,1	369,4	650	22,4	600	25	450	260164	8005	26,91	9047	38025	1690	10,29	2607	11,87	702,9	37078857	27	9	0,578	8	3,06	85
650 x 310	310,1	396	650	19	587	31,5	450	303396	9335	27,71	10404	47874	2128	11,01	3242	12,22	1079,1	45752651	31	7,1	0,459	8	3,06	77
650 x 326	326,8	415	650	22,4	587	31,5	450	308117	9511	27,29	10697	47896	2129	10,74	3263	12,09	1169,4	45752651	26	7,1	0,459	8	3,06	74
650 x 351	350,7	440,8	650	19	575	37,5	450	347034	10678	27,87	11906	56906	2533	11,29	3849	12,34	1722,1	53415802	30	6	0,385	8	3,06	68
650 x 366	366	468,3	650	22,4	575	37,5	450	352421	10844	27,46	12187	57007	2534	11,06	3869	12,24	1811,5	53415802	26	6	0,385	8	3,06	66
650 x 413	413,1	528,2	650	22,4	561	44,5	450	400707	12329	27,6	13858	67637	3008	11,34	4578	12,36	2870,5	61646191	25	5,1	0,325	8	3,06	58
650 x 461	461,2	587,5	650	25	550	50	450	440599	13557	27,26	15911	76009	3378	11,37	5148	12,38	4002,5	68843750	22	4,5	0,289	8	3,05	52
700 x 214	214,1	272,8	700	12,5	662	19	500	250564	7159	30,31	7859	39594	1584	12,05	2401	13,49	273	48930116	53	13,2	0,737	6	3,38	124
700 x 232	232,3	296,9	700	16	662	19	500	269026	7401	29,96	8222	39606	1684	11,57	2417	13,26	321,6	48930116	41	13,2	0,737	6	3,37	114
700 x 278	277,9	354	700	16	650	25	500	320153	9186	30,14	10128	52106	2084	12,13	3167	13,53	613	59326172	41	10	0,56	8	3,37	95
700 x 293	293,2	373,5	700	19	650	25	500	326378	9382	29,66	10444	52106	2084	11,81	3184	13,38	675,2	59326172	34	10	0,56	8	3,36	90
700 x 327	327,3	416,9	700	16	637	31,5	500	396651	11047	30,48	12152	65647	2626	12,55	3978	13,71	1133,1	73318260	40	7,9	0,444	8	3,37	81
700 x 342	342,3	436	700	19	637	31,5	500	399113	11232	30,03	12486	65661	2626	12,27	3995	13,59	1194,7	73318260	34	7,9	0,444	8	3,36	77

Anexos 6

Tabela B2 (conclusão)

PERFIL	MASSA kg/m	AREA cm ²	ALT. ALMA		MESAS		EXO X-X			EXO Y-Y			I _T cm ⁴	I _{NW} cm ⁴	d _{inf} cm ²	e _c mm	u m ² /mm	u _A m ²						
			d mm	tw mm	h mm	tf mm	lx cm ²	Wx cm	Zx cm ³	ly cm ²	Wy cm ³	ty cm							Zy cm ³					
750 x 284	284,2	302	750	16	700	25	500	374379	9683	32,16	11023	52107	2084	12	3170	619,8	68440755	44	10	0,6	8	3,47	96	
750 x 301	300,7	383	750	19	700	25	500	382054	10212	31,82	11390	52123	2085	11,67	3188	686,6	68440755	37	10	0,6	8	3,46	90	
750 x 334	333,5	424,9	750	16	687	31,5	500	450034	12001	32,54	13204	65648	2626	12,43	3681	1366	140	84665994	43	7,9	0,476	8	3,47	82
750 x 350	349,7	445,5	750	19	687	31,5	500	458140	12217	32,07	13558	65664	2627	12,14	4000	1353	1206,1	84665994	36	7,9	0,476	8	3,46	78
800 x 288	288,3	367,2	800	16	755	22,4	550	431525	10788	34,28	11860	62139	2260	13,01	3436	14,72	518,3	93893894	47	12,3	0,649	8	3,77	103
800 x 310	310,1	396	800	16	750	25	550	469323	11733	34,47	12906	69349	2522	13,25	3829	14,84	678,7	90492692	47	11	0,582	8	3,77	95
800 x 328	327,7	417,5	800	19	750	25	550	479870	11997	33,9	13328	69366	2522	12,89	3849	14,66	730,1	90492692	39	11	0,582	8	3,76	90
800 x 365	364,6	494,4	800	16	737	31,5	550	565262	14132	34,89	15487	87372	3177	13,72	4812	15,05	1251	128965969	46	8,7	0,462	8	3,77	81
800 x 382	381,9	486,5	800	19	737	31,5	550	575270	14382	34,39	15894	87389	3178	13,4	4831	14,91	1321,8	128965969	39	8,7	0,462	8	3,76	77
850 x 336	336	428	850	16	800	25	600	578892	13621	36,78	14935	90027	3001	14,5	4551	16,21	737,6	153140625	50	12	0,567	8	4,07	95
850 x 355	354,8	452	850	19	800	25	600	591692	13622	36,18	15415	90046	3002	14,11	4572	16,02	813,6	153140625	42	12	0,567	8	4,06	90
850 x 396	395,8	503,9	850	16	787	31,5	600	698400	16433	37,23	17947	113427	3781	15	5720	16,43	1362	189928628	49	9,5	0,45	8	4,07	81
850 x 414	414,1	527,5	850	19	787	31,5	600	710587	16720	36,7	18412	113445	3782	14,68	5741	16,28	1407,4	189928628	41	9,5	0,45	8	4,06	77
900 x 342	342,3	436	900	16	850	25	600	656258	14584	38,8	16015	90029	3001	14,37	4554	16,14	744,5	172265625	53	12	0,6	8	4,17	96
900 x 362	362,3	461,5	900	19	850	25	600	671611	14925	38,15	16557	90049	3002	13,97	4577	15,95	825,1	172265625	45	12	0,6	8	4,16	90
900 x 402	401,8	511,9	900	16	837	31,5	600	791302	17584	39,32	19217	113429	3781	14,89	5724	16,38	1368,8	213841853	52	9,5	0,476	8	4,17	81
900 x 422	421,5	537	900	19	837	31,5	600	805962	17610	38,74	19742	113448	3782	14,53	5746	16,22	1448,8	213841853	44	9,5	0,476	8	4,16	77
950 x 368	368,2	468	950	16	900	25	650	762565	16866	41,11	18271	114458	3522	15,62	5339	17,52	803,4	244766683	56	13	0,585	8	4,47	95
950 x 389	389,4	496	950	19	900	25	650	810790	17059	40,43	18879	114479	3522	15,19	5362	17,31	886,6	244766683	47	13	0,585	8	4,46	90
950 x 433	432,8	551,4	950	16	887	31,5	650	957066	20149	41,06	21953	144208	4437	16,17	6711	17,77	1479,8	304086894	55	10,3	0,464	8	4,47	81
950 x 454	453,7	578	950	19	887	31,5	650	974513	20518	41,06	22543	144229	4438	15,8	6734	17,6	1584,4	304086894	47	10,3	0,464	8	4,46	77
1000 x 394	394,1	502	1000	16	950	25	700	946286	18626	43,42	20673	142949	4084	16,87	6186	18,89	862,3	339650391	59	14	0,571	8	4,77	95
1000 x 416	416,4	530,5	1000	19	950	25	700	967730	19355	42,71	21349	142971	4085	16,42	6211	18,67	952,1	339650391	50	14	0,571	8	4,76	90
1000 x 464	463,9	590,9	1000	16	937	31,5	700	1144189	22884	44	24867	180107	5146	17,46	7777	19,15	1590,8	422272386	59	11,1	0,454	8	4,77	81
1000 x 486	485,9	619	1000	19	937	31,5	700	1164755	23295	43,38	25528	180129	5147	17,08	7802	18,97	1680	422272386	49	11,1	0,454	8	4,76	77

Anexos 7

Tabela B3 – Perfis soldados Série VS

PERFIL	MASSA m kg/m	ÁREA A cm ²	ALT. ALMA		MESAS		EXO X-X		EXO Y-Y		IT	CW	I _{NW}	W _{PL}	e _c	u	w _A						
			d	t _w	h	t _f	b _f	l _x	W _x	α								Z _x	I _y	W _y	I _y	Z _y	
150 x 15	15	19,1	150	4,75	137	6,3	100	771	103	6,35	113	105	21	2,34	32	2,67	5421	39	7,9	2,381	3	0,69	361
150 x 18	17,6	22,4	150	4,75	134	8	100	903	120	6,35	135	133	27	2,44	41	2,71	6721	39	6,3	1,875	5	0,69	308
150 x 20	19,8	25,2	150	4,75	131	9,5	100	1026	137	6,39	154	155	32	2,5	48	2,74	7814	38	5,3	1,579	5	0,69	274
150 x 19	19,2	24,4	150	6,3	134	8	100	934	125	6,19	142	134	27	2,34	41	2,66	6721	21	6,3	1,875	5	0,69	283
150 x 21	21,4	27,3	150	6,3	131	9,5	100	1057	141	6,22	161	159	32	2,41	49	2,7	7814	21	5,3	1,579	5	0,69	253
200 x 19	18,8	24	200	4,75	187	6,3	120	1720	172	8,47	188	182	30	2,75	46	3,17	17019	39	9,5	2,646	3	0,87	363
200 x 22	21,9	27,9	200	4,75	184	8	120	2017	202	8,5	225	231	39	2,88	59	3,23	21234	39	7,5	2,083	5	0,87	312
200 x 25	24,6	31,4	200	4,75	181	9,5	120	2305	231	8,57	256	274	46	2,95	69	3,27	24823	38	6,3	1,754	5	0,87	277
200 x 20	19,9	25,3	200	4,75	187	6,3	130	1841	184	8,53	200	231	36	3,02	54	3,45	21638	39	10,3	2,442	3	0,91	360
200 x 23	23,2	29,5	200	4,75	184	8	130	2165	217	8,57	240	203	45	3,15	69	3,52	26997	39	8,1	1,923	5	0,91	308
200 x 26	26,1	33,3	200	4,75	181	9,5	130	2477	248	8,62	274	348	54	3,23	81	3,55	31960	38	6,8	1,619	5	0,91	273
250 x 21	20,7	26,4	250	4,75	237	6,3	120	2840	227	10,37	251	182	30	2,63	47	3,1	26939	50	9,5	3,307	3	0,97	367
250 x 24	23,8	30,3	250	4,75	234	8	120	3319	266	10,47	297	231	39	2,76	59	3,17	33733	49	7,5	2,604	5	0,97	320
250 x 27	26,5	33,8	250	4,75	231	9,5	120	3787	303	10,58	338	274	46	2,85	70	3,22	39463	49	6,3	2,193	5	0,97	287
250 x 23	22,7	28,9	250	4,75	237	6,3	140	3225	258	10,56	282	288	41	3,16	63	3,67	42776	50	11,1	2,834	3	1,05	363
250 x 26	26,3	33,5	250	4,75	234	8	140	3788	303	10,63	336	366	52	3,31	80	3,74	53567	49	8,8	2,232	5	1,05	313
250 x 30	29,5	37,6	250	4,75	231	9,5	140	4336	347	10,74	383	435	62	3,4	94	3,79	62824	49	7,4	1,86	5	1,05	279
250 x 25	24,6	31,4	250	4,75	237	6,3	160	3611	269	10,72	312	430	54	3,7	82	4,24	63856	50	12,7	2,48	3	1,13	360
250 x 29	28,8	36,7	250	4,75	234	8	160	4257	341	10,77	375	546	68	3,86	104	4,32	79959	49	30	1,853	5	1,13	308
250 x 32	32,5	41,4	250	4,75	231	9,5	160	4886	391	10,86	429	649	81	3,96	123	4,36	93778	49	8,4	1,645	5	1,13	273
300 x 23	22,6	28,8	300	4,75	287	6,3	120	4296	266	12,21	320	182	30	2,51	47	3,04	39127	60	9,5	3,968	3	1,07	372
300 x 26	25,7	32,7	300	4,75	284	8	120	5000	333	12,37	376	231	39	2,66	59	3,12	49112	60	7,5	3,125	5	1,07	327
300 x 28	28,3	36,1	300	4,75	281	9,5	120	5690	379	12,55	425	274	46	2,76	70	3,17	57723	59	6,3	2,632	5	1,07	296
300 x 25	24,6	31,3	300	4,75	287	6,3	140	4856	324	12,46	357	288	41	3,03	63	3,6	62133	60	11,1	3,401	3	1,15	367
300 x 28	28,2	35,9	300	4,75	284	8	140	5683	379	12,58	423	366	52	3,19	80	3,69	77988	60	8,8	2,679	5	1,15	320
300 x 31	31,3	39,9	300	4,75	281	9,5	140	6492	433	12,70	480	435	62	3,3	95	3,74	91662	59	7,4	2,266	5	1,15	288
300 x 27	26,5	33,8	300	4,75	287	6,3	160	5416	361	12,68	394	430	54	3,57	82	4,17	92746	60	12,7	2,978	3	1,23	364
300 x 31	30,7	39,1	300	4,75	284	8	160	6365	424	12,76	470	546	68	3,74	104	4,26	116414	60	10	2,344	5	1,23	315
300 x 34	34,3	43,7	300	4,75	281	9,5	160	7294	486	12,92	535	649	81	3,85	123	4,31	136825	59	8,4	1,974	5	1,23	281
300 x 33	33,2	42,3	300	4,75	284	8	180	7047	470	12,91	516	778	86	4,29	131	4,83	165753	60	11,3	2,083	5	1,31	310
300 x 37	37,3	47,5	300	4,75	281	9,5	180	8066	540	13,06	591	924	103	4,41	155	4,89	194815	59	9,5	1,754	5	1,31	278
300 x 46	45,6	58,1	300	4,75	275	12,5	180	10128	675	13,2	737	1215	135	4,57	204	4,96	251068	58	7,2	1,333	5	1,31	225

Anexos 8

Tabela B3 (continuação)

PERFIL	MASSA kg/m	ÁREA cm²	ALT.		ALMA		MIDAS		EIXO X - X		EIXO Y - Y		IT	IT	CW	I _{yh}	I _{yz}	d _{int}	ec	u	w/A			
			g	w	h	t	b _f	t _w	ix	ix ₀	iy	iy ₀										Z _x	Z _y	
350 x 26	26,4	33,6	350	4,75	337	6,3	140	6884	383	14,31	438	288	41	2,93	64	3,54	3,6	85089	71	11,1	3,968	3	1,25	372
350 x 30	30,1	38,3	350	4,75	334	8	140	8056	469	14,48	516	366	52	3,09	80	3,64	6	106983	70	8,8	3,125	5	1,25	326
350 x 33	33,2	42,3	350	4,75	331	9,5	140	9148	523	14,71	583	435	62	3,21	95	3,69	9,2	125920	70	7,4	2,632	5	1,25	296
350 x 28	28,4	36,2	350	4,75	337	6,3	160	7851	487	14,54	481	430	54	3,45	83	4,11	12,7	127013	71	12,7	3,472	3	1,33	367
350 x 33	32,6	41,5	350	4,75	334	8	160	8962	512	14,7	570	546	68	3,63	104	4,21	6,7	159695	70	9,0	2,734	5	1,33	320
350 x 36	36,2	46,1	350	4,75	331	9,5	160	10249	588	14,91	648	649	81	3,75	123	4,27	10,4	187978	70	8,4	2,303	5	1,33	289
350 x 30	30,4	38,7	350	4,75	337	6,3	180	8418	481	14,75	525	613	68	3,98	104	4,68	4,2	160845	71	14,3	3,088	3	1,41	364
350 x 35	35,1	44,7	350	4,75	334	8	180	9888	568	14,88	625	778	86	4,17	131	4,78	7,4	227378	70	11,3	2,431	5	1,41	315
350 x 39	39,2	49,9	350	4,75	331	9,5	180	11351	649	15,08	712	924	103	4,3	156	4,84	11,5	267648	70	9,5	2,047	5	1,41	283
350 x 38	37,6	47,9	350	4,75	334	8	200	10834	619	15,04	680	1087	107	4,72	162	5,35	8	311904	70	12,5	2,188	5	1,49	311
350 x 42	42,2	53,7	350	4,75	331	9,5	200	12453	712	15,23	777	1287	127	4,86	182	5,41	12,6	367144	70	10,5	1,842	5	1,49	277
350 x 51	51,3	65,4	350	4,75	325	12,5	200	19004	862	15,45	969	1667	167	5,05	252	5,5	27,2	474009	68	8	1,4	5	1,49	228
400 x 28	28,3	36	400	4,75	387	6,3	140	9340	467	16,11	525	288	41	2,83	64	3,48	3,7	116446	81	11,1	4,535	3	1,35	375
400 x 32	31,9	40,6	400	4,75	384	8	140	10848	542	16,35	614	366	52	3	81	3,58	6,2	140551	81	8,8	3,571	5	1,35	333
400 x 35	35,1	44,7	400	4,75	381	9,5	140	12352	617	16,61	692	435	62	3,12	95	3,65	9,4	168630	80	7,4	3,008	5	1,35	302
400 x 30	30,2	38,5	400	4,75	387	6,3	160	10347	517	16,39	574	430	54	3,34	83	4,05	4,1	166586	81	12,7	3,968	3	1,43	371
400 x 34	34,4	43,8	400	4,75	384	8	160	12077	604	16,61	677	548	68	3,53	105	4,15	6,9	209803	81	9,0	3,125	5	1,43	326
400 x 38	38,1	48,5	400	4,75	381	9,5	160	13781	689	16,86	766	649	81	3,66	124	4,22	10,5	247238	80	8,4	2,632	5	1,43	295
400 x 32	32,3	41,1	400	4,75	387	6,3	180	11653	588	16,62	624	613	68	3,86	104	4,61	4,4	237289	81	14,3	3,527	3	1,51	367
400 x 37	36,9	47	400	4,75	384	8	180	13007	685	16,83	740	778	86	4,07	132	4,72	7,5	288723	81	11,3	2,778	5	1,51	321
400 x 41	41,1	52,3	400	4,75	381	9,5	180	15290	782	17,06	840	924	103	4,2	156	4,79	11,7	352024	80	9,5	2,339	5	1,51	289
400 x 39	39,4	50,2	400	4,75	384	8	200	14536	727	17,02	802	1067	107	4,81	162	5,29	8,2	409771	81	12,5	2,5	5	1,59	317
400 x 44	44	56,1	400	4,75	381	9,5	200	18679	884	17,24	914	1287	127	4,75	192	5,36	12,8	482886	80	10,5	2,105	5	1,59	283
400 x 53	53,2	67,8	400	4,75	375	12,5	200	20863	1043	17,54	1136	1667	167	4,96	252	5,46	27,4	625651	79	8	1,6	5	1,59	235
450 x 51	51,2	65,2	450	6,3	431	9,5	200	22840	1066	18,63	1130	1288	127	4,41	194	5,19	15,1	614461	68	10,5	2,368	5	1,69	259
450 x 60	60,3	76,8	450	6,3	425	12,5	200	27862	1243	19,08	1378	1668	167	4,66	254	5,32	29,7	797526	67	8	1,8	5	1,69	220
450 x 71	70,9	90,3	450	6,3	418	16	200	33885	1510	19,4	1664	2134	213	4,86	324	5,41	59,2	1004565	66	6,3	1,406	6	1,69	187
450 x 80	80,1	102	450	6,3	412	19	200	39869	1723	19,55	1905	2534	253	4,98	384	5,47	95	1178486	65	5,3	1,184	6	1,69	168
450 x 59	58,6	74,7	450	6,3	431	9,5	250	27249	1211	19,1	1339	2475	198	5,76	301	6,61	18	1200119	68	13,2	1,895	5	1,89	253
450 x 70	70,1	89,3	450	6,3	425	12,5	250	33846	1509	19,5	1652	3256	200	6,04	395	6,75	36,2	1557068	67	10	1,44	5	1,89	212
450 x 83	83,4	106,3	450	6,3	418	16	250	41523	1845	19,78	2011	4188	333	6,26	504	6,85	71,9	1982042	66	7,8	1,125	6	1,89	178
450 x 95	95	121	450	6,3	412	19	250	47818	2125	19,88	2315	4949	396	6,4	598	6,91	117,9	2297825	65	6,6	0,947	6	1,89	156
500 x 61	61,1	77,8	500	6,3	481	9,5	250	34418	1377	21,03	1529	2475	198	5,84	302	6,55	18,4	1488026	76	13,2	2,105	5	1,99	256
500 x 73	72,5	92,4	500	6,3	475	12,5	250	42768	1711	21,51	1879	3256	260	6,94	395	6,7	36,6	1934052	75	10	1,6	5	1,99	215
500 x 86	86	109,5	500	6,3	468	16	250	52250	2090	21,84	2281	4188	333	6,17	505	6,81	72,3	2440167	74	7,8	1,25	6	1,99	182
500 x 97	97,4	124,1	500	6,3	462	19	250	60154	2406	22,02	2621	4949	396	6,31	598	6,87	118,3	2861887	73	6,6	1,053	6	1,99	160

Anexos 9

Tabela B3 (continuação)

PERFIL	MASSA kg/m	AREA cm ²	ALT. mm	ALIMA		MESAS		EIXO X - X		EIXO Y - Y		IT	IT	Cw	I _{NW}	d _{WF}	ec	u	u/A					
				h	t _f	b _f	t _f	I _x	W _x	z _x	I _y									W _y	z _y			
550 x 64	63,6	81	550	6,3	531	9,5	250	42566	1547	22,92	1726	2475	198	553	302	6,5	18,8	1806857	84	13,2	2,316	5	2,09	258
550 x 75	75	95,6	550	6,3	525	12,5	250	52747	1918	23,49	2114	3256	260	584	396	6,65	37	2351125	83	10	1,76	5	2,09	219
550 x 88	88,4	112,6	550	6,3	518	16	250	64345	2340	23,9	2559	4168	333	608	505	6,77	72,7	2970375	82	7,8	1,375	6	2,09	186
550 x 100	99,9	127,3	550	6,3	512	19	250	74041	2692	24,12	2935	4949	396	624	599	6,84	116,7	3487799	81	6,6	1,158	6	2,09	164
600 x 81	81,2	103,5	600	8	581	9,5	300	62768	2692	24,63	2958	4277	285	643	437	7,68	27,2	3726227	73	15,8	2,105	5	2,38	230
600 x 95	95	121	600	8	575	12,5	300	77401	2800	25,29	2864	5027	375	682	572	7,89	49,1	4853760	72	12	1,6	5	2,38	197
600 x 111	111	141,4	600	8	568	16	300	94091	3136	25,8	3446	7202	480	734	729	8,05	91,9	6139008	71	9,4	1,25	6	2,38	168
600 x 125	124,8	159	600	8	562	19	300	108073	3602	26,07	3943	8552	570	730	864	8,14	147,1	7215398	70	7,9	1,053	6	2,38	150
600 x 140	140,4	178,8	600	8	555	22,4	300	124012	4134	26,34	4498	10082	672	751	1017	8,22	234,6	8407268	69	6,7	0,893	8	2,38	133
600 x 152	152,3	194	600	8	500	25	300	135154	4505	26,39	4916	11252	750	762	1134	8,27	322,3	9298328	69	6	0,6	6	2,38	123
650 x 84	84,4	107,5	650	8	631	9,5	300	75213	2314	26,45	2622	4278	285	631	438	7,61	26,1	4384443	79	15,8	2,281	5	2,48	231
650 x 98	98,1	128	650	8	625	12,5	300	92487	2646	27,2	3172	5028	375	671	573	7,83	49,9	5715088	78	12	1,733	5	2,48	198
650 x 114	114,1	146,4	650	8	618	16	300	112225	3453	27,78	3807	7203	480	704	730	8	92,7	7235208	77	9,4	1,354	6	2,48	171
650 x 128	128	163	650	8	612	19	300	128792	3863	28,11	4346	8553	570	734	865	8,1	147,9	8510691	77	7,9	1,14	6	2,48	152
650 x 143	143,5	182,8	650	8	605	22,4	300	147713	4545	28,43	4950	10083	672	743	1018	8,18	236,5	9925820	76	6,7	0,907	8	2,48	136
650 x 155	155,4	198	650	8	600	25	300	160983	4953	28,51	5408	11253	750	754	1135	8,23	320,2	10986328	75	6	0,887	8	2,48	125
700 x 105	105,2	134	700	8	675	12,5	320	115045	3287	29,3	3661	6830	427	714	651	8,35	50,4	8068667	84	12,8	1,75	5	2,66	199
700 x 122	122,3	156,8	700	8	668	16	320	139865	3990	29,94	4395	8741	546	749	830	8,48	99,9	10220470	84	10	1,367	6	2,66	171
700 x 137	137,1	174,6	700	8	662	19	320	160361	4582	30,31	5017	10379	649	771	983	8,63	157,9	12000579	83	8,4	1,151	6	2,66	152
700 x 154	153,7	196,8	700	8	655	22,4	320	184037	5258	30,86	5715	12236	795	791	1157	8,72	251,3	14042147	82	7,1	0,977	8	2,66	136
700 x 166	166,4	212	700	8	650	25	320	200642	5733	30,76	6245	13656	854	803	1290	8,77	344,9	15552000	81	6,4	0,875	8	2,66	125
750 x 108	108,3	138	750	8	725	12,5	320	134197	3579	31,18	4001	6830	427	704	652	8,29	54,3	9282667	91	12,8	1,875	5	2,76	200
750 x 125	125,4	159,8	750	8	718	16	320	162620	4337	31,9	4789	8741	546	731	831	8,48	99,9	11769304	90	10	1,465	6	2,76	173
750 x 140	140,2	178,6	750	8	712	19	320	188545	4975	32,32	5458	10380	649	782	984	8,59	158,8	13982037	89	8,4	1,234	6	2,76	155
750 x 157	156,8	196,8	750	8	705	22,4	320	213953	5705	32,72	6209	12236	795	783	1158	8,69	232,2	16190941	88	7,1	1,046	8	2,76	138
750 x 170	169,6	216	750	8	700	25	320	233200	6219	32,86	6780	13656	854	795	1291	8,74	345,7	17941333	88	6,4	0,938	8	2,76	128
800 x 111	111,5	142	800	8	775	12,5	320	155074	3877	33,05	4851	6830	427	694	652	8,24	55,1	10584000	97	12,8	2	5	2,86	201
800 x 129	128,6	163,8	800	8	768	16	320	187573	4889	33,84	5194	8741	546	731	831	8,43	100,8	13427385	96	10	1,563	6	2,86	175
800 x 143	143,3	192,6	800	8	762	19	320	214961	5374	34,31	5910	10380	649	754	985	8,55	196,7	15823202	95	8,4	1,316	6	2,86	157
800 x 160	160	203,8	800	8	755	22,4	320	246374	6159	34,77	6714	12237	795	775	1159	8,65	253	18492653	94	7,1	1,118	8	2,86	140
800 x 173	172,7	220	800	8	750	25	320	268458	6711	34,93	7325	13657	854	788	1292	8,71	346,6	20501333	94	6,4	1	8	2,86	130
850 x 120	120,5	153,5	850	8	825	12,5	350	190878	4491	35,26	5025	8936	511	783	779	9,03	59,9	15862913	103	14	1,943	5	3,08	201
850 x 139	139,3	177,4	850	8	818	16	350	231269	5442	36,11	6009	11437	654	803	993	9,24	109,8	19881309	102	10,9	1,518	6	3,08	174
850 x 155	155,4	196	850	8	812	19	350	265344	6243	36,61	6645	13581	776	828	1177	9,37	174,2	23439511	102	9,2	1,278	6	3,08	156
850 x 174	173,6	221,2	850	8	805	22,4	350	304467	7164	37,1	7784	16010	915	851	1385	9,48	276,4	27408288	101	7,8	1,084	8	3,08	139
850 x 188	187,6	238	850	8	800	25	350	331998	7812	37,27	8499	17868	1021	865	1544	9,54	378,7	30397705	100	7	0,971	8	3,08	129

Anexos 10

15

Tabela B3 (continuação)

PERFIL	MASSA kg/m	ÁREA cm ²	ALT. ALIMA			MIDAS			EIXO X-X			EIXO Y-Y			I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	Z _x cm	Z _y cm	IT cm ⁴	CW cm ²	I _{NW} cm ⁴	d _{int} cm ²	e _c mm	u m ² /m	u _A m ²
			d	h	h ₁	b _f	t _f	t _w	t _l	t _h	t _l	t _h	W _x cm ³	W _y cm ³											
900 x 124	123,6	157,5	900	8	875	12,5	350	239773	4822	37,12	5414	8930	511	753	780	8,58	60,7	17358938	109	14	2,037	5	3,18	202	
900 x 142	142,4	181,4	900	8	868	16	350	262430	5832	38,04	6457	11437	654	794	994	9,2	110,7	22336617	109	10,9	1,807	6	3,18	175	
900 x 159	158,6	202	900	8	862	19	350	300814	6885	38,59	7345	13381	776	8,2	1178	9,33	175,1	26345006	108	9,2	1,353	6	3,18	157	
900 x 177	176,6	225,2	900	8	855	22,4	350	344925	7665	39,14	8342	16010	915	8,43	1386	9,44	277,2	30820107	107	7,8	1,148	6	3,18	141	
900 x 191	190,8	243	900	8	850	25	350	375994	8555	39,34	9101	17888	1021	8,58	1545	9,51	379,5	34193929	106	7	1,029	6	3,18	131	
950 x 127	126,8	161,5	950	8	925	12,5	350	245036	5159	36,95	5813	8936	511	744	780	8,92	61,6	19620617	116	14	2,171	5	3,28	203	
950 x 146	145,5	185,4	950	8	918	16	350	286888	6229	38,95	6916	11437	654	785	995	9,15	111,5	24924842	115	10,9	1,698	6	3,28	177	
950 x 162	161,7	206	950	8	912	19	350	338908	7133	40,55	7855	13381	776	8,12	1178	9,29	175,9	29420216	114	9,2	1,429	6	3,28	159	
950 x 180	179,9	229,2	950	8	905	22,4	350	388207	8173	41,16	8910	16010	915	8,36	1386	9,41	278,1	34432011	113	7,8	1,212	6	3,28	143	
950 x 194	193,9	247	950	8	900	25	350	420027	8906	41,38	9714	17808	1021	8,51	1546	9,48	300,4	38213460	113	7	1,086	6	3,28	133	
1000 x 140	139,7	178	1000	8	975	12,5	400	308593	6112	41,43	6839	13337	667	8,66	1016	10,29	88,9	32505208	122	16	2	5	3,58	201	
1000 x 161	161,2	205,4	1000	8	968	16	400	370339	7407	42,46	8172	17071	854	8,12	1295	10,53	126	41312256	121	12,5	1,503	6	3,58	174	
1000 x 180	179,8	229	1000	8	962	19	400	425095	8502	43,08	9206	20271	1014	8,41	1535	10,68	199,6	48759624	120	10,5	1,316	6	3,58	156	
1000 x 201	200,6	255,6	1000	8	955	22,4	400	488119	9762	43,7	10583	23897	1195	8,67	1807	10,81	376,4	57087252	119	8,9	1,116	6	3,58	140	
1000 x 217	216,7	276	1000	8	950	25	400	532575	10852	43,93	11555	26971	1334	8,83	2015	10,88	433,3	63375000	119	8	1	6	3,58	130	
1100 x 159	158,6	202,1	1100	9,5	1075	12,5	400	384026	7164	44,15	8182	13341	667	8,12	1024	9,87	83,2	39421875	113	16	2,2	5	3,78	187	
1100 x 180	180,2	229,5	1100	9,5	1068	16	400	472485	8691	45,37	9647	17074	854	8,63	1304	10,27	140,2	50135723	112	12,5	1,719	6	3,78	165	
1100 x 199	198,5	242,9	1100	9,5	1062	19	400	539822	9799	46,16	10894	20274	1014	8,95	1544	10,45	213,8	59207091	112	10,5	1,447	6	3,78	149	
1100 x 219	219,3	279,4	1100	9,5	1055	22,4	400	616460	11191	46,94	12299	23901	1195	9,25	1816	10,6	300,5	69636846	111	8,9	1,228	6	3,78	135	
1100 x 235	235,3	299,8	1100	9,5	1050	25	400	689562	12174	47,26	13368	26674	1334	9,43	2024	10,69	447,4	77041667	111	8	1,1	8	3,78	126	
1200 x 200	200,2	255	1200	9,5	1168	16	450	630844	10514	46,74	11765	24306	1080	9,76	1646	11,59	191,7	85162752	123	14,1	1,687	6	4,18	164	
1200 x 221	220,9	281,4	1200	9,5	1162	19	450	720523	12009	50,6	13304	28865	1283	10,13	1950	11,78	239,5	100618930	122	11,8	1,404	6	4,18	149	
1200 x 244	244,4	311,3	1200	9,5	1155	22,4	450	820984	13733	51,45	15039	34028	1512	10,46	2294	11,95	370,8	117942387	122	10	1,19	6	4,18	134	
1200 x 282	282,4	354,3	1200	9,5	1150	25	450	897121	14652	51,8	16360	37977	1688	10,68	2557	12,05	502,3	131051514	121	9	1,067	6	4,18	125	
1200 x 307	307,3	391,5	1200	9,5	1137	31,5	450	1084322	18072	52,63	19634	47849	2127	11,08	3215	12,24	971,1	163303047	120	7,1	0,847	8	4,18	107	
1300 x 237	237,5	302,5	1300	12,5	1286	16	450	809914	12999	51,62	14269	24321	1081	8,97	1670	11,11	206,5	100158852	101	14,1	1,808	6	4,38	145	
1300 x 258	258,1	328,8	1300	12,5	1282	19	450	910929	14014	52,64	15930	28877	1283	9,37	1973	11,38	289,2	118379652	101	11,8	1,52	6	4,38	133	
1300 x 281	281,4	358,5	1300	12,5	1255	22,4	450	1032190	15880	53,66	17800	34040	1513	9,74	2317	11,58	420,4	138823883	100	10	1,29	6	4,38	122	
1300 x 299	299,3	381,3	1300	12,5	1250	25	450	1117882	17200	54,15	19227	37989	1688	9,98	2580	11,71	551,8	154307373	100	9	1,156	8	4,38	115	
1300 x 344	343,9	438,1	1300	12,5	1237	31,5	450	1337847	20582	55,26	22763	47861	2127	10,45	3238	11,95	1020,3	192449947	99	7,1	0,917	8	4,38	100	
1400 x 200	200,2	255	1400	12,5	1368	16	500	1032894	14756	56,86	16920	33396	1334	10,04	2053	12,4	226,6	159621333	109	15,6	1,75	6	4,78	144	
1400 x 283	282,8	360,3	1400	12,5	1362	19	500	1199143	16702	56,96	18917	39006	1584	10,48	2428	12,67	318,5	188729474	109	13,2	1,474	6	4,78	133	
1400 x 309	308,8	393,4	1400	12,5	1355	22,4	500	1326589	18651	58,07	21167	46889	1868	10,89	2853	12,9	464,3	221407872	108	11,2	1,25	8	4,78	122	
1400 x 329	328,8	418,8	1400	12,5	1350	25	500	1438060	20544	58,6	22883	52005	2084	11,15	3178	13,04	610,4	246175130	108	10	1,12	8	4,78	114	
1400 x 378	378,4	482,1	1400	12,5	1337	31,5	500	1728041	24629	59,8	27140	69417	2526	11,67	3990	13,31	1131	307254979	107	7,9	0,889	8	4,78	99	
1400 x 424	424,4	540,6	1400	12,5	1325	37,5	500	1983133	28330	60,57	31033	78147	3126	12,02	4739	13,48	1846,5	362579346	106	6,7	0,747	8	4,78	88	
1400 x 478	478	608,9	1400	12,5	1311	44,5	500	2278533	32665	61,19	35331	92730	3709	12,34	5614	13,62	3023,6	425851132	105	5,6	0,629	8	4,78	79	

Anexos 11

Tabela B3 (conclusão)

PERFIL	MASSA kg/m	ÁREA cm ²	ALT.		ALMA		MIDAS		EIXO X - X			EIXO Y - Y			IT	IT	Cw	h _{hw}	b _{2/E}	d _{inf}	ec	u	w/A	
			a	w	h	t	t _f	t _w	ix	wx	ix	z _x	iy	wy										iy
1500x270	269,6	343,5	1500	12,5	1468	16	500	120476	16140	59,36	8606	33357	1334	9,85	2057	12,28	203,1	183521333	117	15,6	1,875	6	4,98	145
1500x293	282,6	372,8	1500	12,5	1462	19	500	1307419	18232	60,56	20749	39807	1584	10,31	2432	12,56	325,1	217051349	117	13,2	1,579	6	4,96	134
1500x319	316,0	405,9	1500	12,5	1455	22,4	500	1548898	22052	61,77	23165	46990	1800	10,73	2857	12,81	410,8	254718539	116	11,2	1,339	8	4,96	123
1500x339	338,0	431,3	1500	12,5	1450	25	500	1674661	22366	62,36	25008	52107	2004	10,99	3182	12,95	476,9	283284505	116	10,2	1,2	8	4,98	115
1500x368	388,3	494,6	1500	12,5	1437	31,5	500	2007598	26768	63,71	29582	65648	2626	11,59	3994	13,23	1137,5	363799610	115	7,9	0,952	8	4,98	101
1500x434	434,2	553,1	1500	12,5	1425	37,5	500	2307085	30781	64,58	33768	78148	3126	11,89	4743	13,41	1883	417755127	114	6,7	0,8	8	4,98	90
1500x468	467,6	621,4	1500	12,5	1411	44,5	500	2630168	35336	65,31	38007	92733	3709	12,22	5618	13,57	3032,1	491001933	113	5,6	0,674	8	4,96	80
1600x328	328,4	418,4	1600	12,5	1555	22,4	500	1791549	22364	65,44	25225	46692	1898	10,96	2861	12,71	477,4	290362539	124	11,2	1,429	8	5,18	124
1600x348	348,4	443,8	1600	12,5	1550	25	500	1938424	24230	66,09	27195	52109	2094	10,94	3186	12,87	629,4	322598047	124	10	1,28	8	5,18	117
1600x368	368,1	507,1	1600	12,5	1537	31,5	500	2358887	28949	67,58	30886	65850	2626	11,36	3968	13,16	1144	408252091	123	7,9	1,016	8	5,18	102
1600x444	444,4	585,6	1600	12,5	1525	37,5	500	2636993	33234	68,56	36564	78150	3126	11,75	4747	13,35	1859,5	476837158	122	6,7	0,853	8	5,18	92
1600x468	467,6	633,9	1600	12,5	1511	44,5	500	3058171	38148	69,39	41745	92733	3709	12,1	5622	13,51	3038,6	560788131	121	5,6	0,719	8	5,18	82
1700x338	338,3	430,9	1700	12,5	1655	22,4	500	2058170	24178	69,06	27349	46994	1898	10,41	2865	12,62	483,9	308398872	132	11,2	1,518	8	5,38	125
1700x358	358,2	456,3	1700	12,5	1650	25	500	2221576	26136	69,78	29445	52110	2084	10,69	3189	12,78	629,9	355315755	132	10	1,36	8	5,38	118
1700x408	407,9	519,6	1700	12,5	1637	31,5	500	2646532	31171	71,41	34653	65652	2626	11,24	4001	13,09	1150,5	466732322	131	7,9	1,079	8	5,38	104
1700x454	453,8	578,1	1700	12,5	1625	37,5	500	3038582	35748	72,5	39424	78151	3126	11,63	4751	13,28	1866	59825439	130	6,7	0,907	8	5,38	93
1700x507	507,4	646,4	1700	12,5	1611	44,5	500	3482368	41003	73,43	44945	92735	3709	11,96	5625	13,46	3045,2	835209745	129	5,6	0,764	8	5,38	83
1800x348	348,1	443,4	1800	12,5	1755	22,4	500	2340384	26004	72,65	29534	46695	1898	10,26	2869	12,53	490,4	368650539	140	11,2	1,607	8	5,58	126
1800x368	368	468,8	1800	12,5	1750	25	500	2527539	28084	73,43	31758	52112	2084	10,54	3193	12,7	636,4	410237630	140	10	1,44	8	5,58	119
1800x418	417,7	532,1	1800	12,5	1737	31,5	500	3009158	33435	75,2	37283	65653	2626	11,11	4005	13,02	1157	513120604	139	7,9	1,143	8	5,58	105
1800x464	463,6	590,0	1800	12,5	1725	37,5	500	3447378	38304	76,4	42346	78153	3126	11,5	4755	13,22	1872,6	608719971	138	6,7	0,96	8	5,58	94
1800x517	517,2	658,9	1800	12,5	1711	44,5	500	3930964	43900	77,44	48208	92736	3709	11,96	5629	13,4	3051,7	714266777	137	5,6	0,809	8	5,58	85
1800x465	465,4	592,9	1800	16	1737	31,5	500	3182016	35134	73,03	39623	65684	2627	10,53	4049	12,69	1283,3	513120604	109	7,9	1,143	8	5,57	94
1800x511	511	651	1800	16	1725	37,5	500	3597089	39668	74,33	44949	78184	3127	10,96	4798	12,94	1980,5	800719971	108	6,7	0,96	8	5,57	86
1800x564	564,3	718,8	1800	16	1711	44,5	500	4097080	45523	75,5	50770	92787	3711	11,36	5672	13,15	3177,1	714266777	107	5,6	0,809	8	5,57	77
1900x429	429,6	546	1900	16	1850	25	500	3041613	32017	74,04	37128	52146	2086	9,77	3243	12,22	776,8	457763672	116	10	1,52	8	5,77	106
1900x478	478	608,9	1900	16	1837	31,5	500	3578198	37644	76,54	42927	65688	2628	10,39	4055	12,81	1297	52790135	115	7,9	1,206	8	5,77	95
1900x524	524,6	667	1900	16	1825	37,5	500	4063991	42768	78,05	48244	78187	3127	10,83	4804	12,86	2012,1	675200752	114	6,7	1,013	8	5,77	87
1900x577	577,6	734,8	1900	16	1811	44,5	500	4622882	48662	79,32	54004	92770	3711	11,24	5678	13,08	3190,7	797959225	113	5,6	0,854	8	5,77	79
2000x461	461,8	587	2000	16	1950	25	500	3670473	38705	79,08	42566	69389	2523	10,87	3906	13,53	842,6	676008755	122	11	1,455	8	6,17	105
2000x515	515,3	656,4	2000	16	1937	31,5	500	4328007	43280	81,18	49112	87413	3179	11,54	4888	14,14	1414,8	846171159	121	8,7	1,154	8	6,17	94
2000x566	566,0	720,5	2000	16	1925	37,5	500	4923357	49234	82,66	50299	104050	3794	12,02	5795	14,21	2201,5	1001215179	120	7,3	0,97	8	6,17	86
2000x624	624,3	795,3	2000	16	1911	44,5	500	5630913	56109	83,99	62469	123460	4489	12,46	6853	14,45	3468,1	1179648116	119	6,2	0,817	8	6,17	78

Anexos 12

Tabela 2 - Valores mínimos das cargas verticais			
		Unid.: kN/m ²	
Local		Carga	
1	Arquibancadas	4	
2	Balões	Mesma carga da peça com a qual se comunicam e as previstas em 2.2.1.5	
3	Bancos	Escritórios e banheiros Salas de diretoria e de gerência	
4	Bibliotecas	Sala de leitura	2,5
		Sala para depósito de livros	4
5	Casas de máquinas	Sala com estantes de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5 kN/m ² por metro de altura observado, porém o valor mínimo de	6
		(Incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
6	Cinemas	Platêia com assentos fixos	3
		Estúdio e platêia com assentos móveis	4
		Banheiro	2
7	Clubes	Sala de refeições e de assembleia com assentos fixos	3
		Sala de assembleia com assentos móveis	4
		Salão de danças e salão de esportes	5
		Sala de bilhar e banheiro	2
8	Corredores	Com acesso ao público	3
		Sem acesso ao público	2
9	Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
10	Depósitos	A ser determinada em cada caso e na falta de valores experimentais conforme o indicado em 2.2.1.3	-
11	Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
		Dispensa, área de serviço e lavanderia	2
12	Escadas	Com acesso ao público	3
		Sem acesso ao público (ver 2.2.1.7)	2,5
13	Escolas	Amfiteatro com assentos fixos	3
		Corredor e sala de aula	3
		Outras salas	2
14	Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
15	Fornos	Sem acesso a pessoas	0,5
16	Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
17	Galerias de lojas	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
18	Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo. Valores de ϕ indicados em 2.2.1.6	3
19	Ginásios de esportes		5

Dimensionamento otimizado de perfis metálicos do tipo I com o auxílio de planilhas eletrônicas

Pedro Guilherme Leite Feitosa

Anexos 13

Local		Carga
20 Hospitais	Dormitórios, enfermarias, sala de recuperação, sala de cirurgia, sala de raio X e banheiro	2
	Corredor	3
21 Laboratórios	Incluindo equipamentos, a ser determinado em cada caso, porém com o mínimo	3
22 Lavanderias	Incluindo equipamentos	3
23 Lojas		4
24 Restaurantes		3
25 Teatros	Palco	5
	Demais dependências: cargas iguais às especificadas para cinemas	-
26 Terraços	Sem acesso ao público	2
	Com acesso ao público	3
	Inacessível a pessoas	0,5
	Destinados a heliportos elevados: as cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica	-
27 Vestíbulo	Sem acesso ao público	1,5
	Com acesso ao público	3