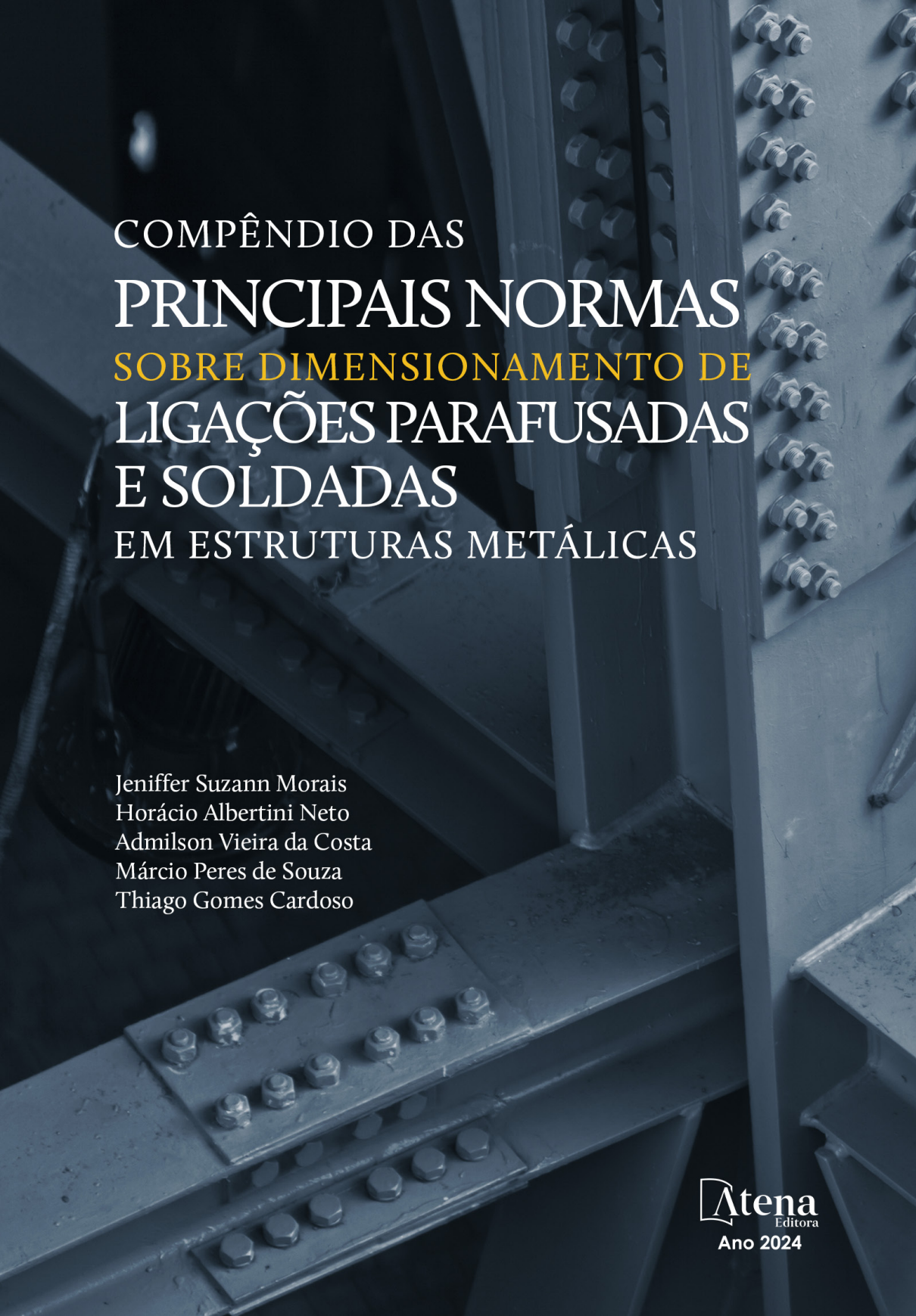




COMPÊNDIO DAS PRINCIPAIS NORMAS SOBRE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS E SOLDADAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Jeniffer Suzann Morais
Horácio Albertini Neto
Admilson Vieira da Costa
Márcio Peres de Souza
Thiago Gomes Cardoso

COMPÊNDIO DAS
PRINCIPAIS NORMAS
SOBRE DIMENSIONAMENTO DE
LIGAÇÕES PARAFUSADAS
E SOLDADAS
EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Jeniffer Suzann Morais
Horácio Albertini Neto
Admilson Vieira da Costa
Márcio Peres de Souza
Thiago Gomes Cardoso

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Compêndio das principais normas sobre dimensionamento de ligações parafusadas e soldadas em estruturas metálicas

Diagramação: Nataly Evilin Gayde
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Autores: Jeniffer Suzann Morais
 Horácio Albertini Neto
 Admilson Vieira da Costa
 Márcio Peres de Souza
 Thiago Gomes Cardoso

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C737	Compêndio das principais normas sobre dimensionamento de ligações parafusadas e soldadas em estruturas metálicas / Jeniffer Suzann Morais, Horácio Albertini Neto, Admilson Vieira da Costa, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024. Outros autores Márcio Peres de Souza Thiago Gomes Cardoso Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2305-8 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.058241903 1. Estruturas metálicas. I. Morais, Jeniffer Suzann. II. Albertini Neto, Horácio. III. Costa, Admilson Vieira da. IV. Título. CDD 624.1
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil
 Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, a minha família e aos meus amigos pelo apoio incondicional nesse processo. Sem vocês eu nada seria.

A Deus por me conceder saúde e força para atingir meus objetivos ao longo desse processo.

Aos meus pais, Elizângela Cristina Morais e Edson Rubens Pereira da Silva, pelo amor, carinho e apoio em todos os dias da minha vida.

Aos meus irmãos, Jéssica Suzann Morais e Mateus Miler Silva, que sempre estiveram me apoiando e incentivando a alcançar os meus objetivos.

A memória da minha avó, Sebastiana Maria e das minhas madrinhas e padrinhos, que sempre me incentivaram, torceram e acreditavam na minha capacidade. Essa conquista é nossa!

Aos meus amigos, especialmente Matheus Dias, Hermann Vianna e Ullisses Zoroastro por dividir os melhores e piores momentos que tivemos nessa jornada.

Ao meu orientador, Horácio Albertini, e meu coorientador Thiago Cardoso, pela dedicação na condução deste trabalho.

A banca examinadora, Admilson Vieira da Costa e Márcio Peres de Souza por toda contribuição de conhecimento que ajudaram a enriquecer este trabalho.

A instituição Cefet-MG, seu corpo docente e aos colaboradores por proporcionar um ambiente de acolhimento e um ensino de qualidade.

Este trabalho consiste na elaboração de um compêndio, isto é, uma compilação resumida em que se encontra o indispensável referente às normas aplicáveis no dimensionamento de ligações parafusadas e soldadas em estruturas metálicas. Toda a pesquisa teve embasamento em trabalhos da mesma linha de estudo, livros, sites e os próprios anexos das normas. A princípio são mapeadas as principais normas nacionais e estrangeiras que fornecem informações relevantes para o processo, como: ABNT NBR 8800:2008, AISI/AISC 360-16, EUROCODE 3, ISO 898-1:2013, AISI S100-16W-151-18 e AWS D1.1:2010. A seguir são apresentados os princípios básicos considerados no cálculo de dimensionamento de cada uma das ligações, e as respectivas recomendações das normas levantadas. Finalmente, é elaborado um quadro resumo, o qual unifica todas essas normas, de modo a facilitar a consulta do projetista ao buscar uma determinada norma para realizar as verificações necessárias, além de proporcionar a possibilidade de realizar os cálculos utilizando normas diferentes, e poder comparar seus resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Ligações parafusadas. Ligações Soldadas. Normas. Estrutura Metálica.

This work consists of the elaboration of a compendium, that is, a summarized compilation, in which the most indispensable references to the applicable norms in the dimensioning of bolted and welded connections in metallic structures are found. All the research was based on works of the same line of study, books, websites and the annexes of the norms. At first, the main national and foreign standards that provide relevant information for the process are mapped, such as: ABNT NBR 8800:2008, AISI/AISC 360-16, EUROCODE 3, ISO 898-1:2013, AISI S100-16W-151- 18 and AWS D1.1:2010. Below are the basic principles considered in the dimensioning calculation of each of the connections, and the respective recommendations of the standards raised. Finally, a summary table is elaborated, which unifies all these norms, in order to facilitate the consultation of the designer when looking for a certain norm to carry out the necessary verifications, besides providing the possibility of carrying out the calculations using different norms and being able to compare their results.

KEYWORDS: Bolted Connections. Welded Connections. Standards. Metal Structure

Figura 1: (a) Laminação chapas; (b)Laminação Perfis; (c) Laminação barras redondas	4
Figura 2: Geometria de um Perfil H.....	5
Figura 3: Cantoneiras de abas iguais	6
Figura 4: Cantoneira de Abas desiguais	6
Figura 5: Perfil H.....	7
Figura 6: Perfil I.....	7
Figura 7: Perfil T.....	8
Figura 8: Perfil U	8
Figura 9: Barra Quadrada	9
Figura 10: Barra Redonda	9
Figura 11: Barra Chata	9
Figura 12: Chapas Grossas	10
Figura 13: Chapas Finas.....	10
Figura 14: Tubo sem costura	11
Figura 15: Tubo com costura.....	11
Figura 16: Estrutura metálica para instalação de um hope.....	13
Figura 17: Plataforma de Acesso.....	13
Figura 18: Estrutura empregadas no suporte de telhados	14
Figura 19: Escada de acesso	14
Figura 20: Estruturas implantadas no sistema de pontes rolantes das indústrias.....	15
Figura 21: Guarda Corpo	15
Figura 22: Portão	16
Figura 23: Proteção NR 12	16
Figura 24: Elementos de ligação e Meios de ligação	17
Figura 25: Significado dos números das classes dos parafusos da Norma ISO.....	18
Figura 26: Estrutura de um parafuso	19

Figura 27: Tipos de aperto aplicados nos parafusos de alta resistência.....	20
Figura 28: Ligação com parafusos sujeitos à esforço de tração	22
Figura 29 (a) Cisalhamento centrado simples (b) Cisalhamento centrado duplo...	22
Figura 30: Parafuso sob cisalhamento excêntrico	23
Figura 31: Esforços combinados tração + cisalhamento	23
Figura 32: Arco elétrico com eletrodo revestido	25
Figura 33: Soldagem arame tubular	26
Figura 34: Soldagem a arco gás com tocha MIG.....	27
Figura 35: Soldagem com eletrodo de Tungstênio (TIG).....	27
Figura 36: Soldagem ao Arco Submerso	28
Figura 37: Representação Solda de Filete	29
Figura 38: Representação solda de entalhe para ligação de topo.....	29
Figura 39: Representação solda de tampão	30
Figura 40: Tipos de Juntas	30
Figura 41: Símbolos de solda.....	32
Figura 42: Símbolo soldagem.....	32
Figura 43: Porosidade em um cordão de solda.....	35
Figura 44: Cordão de solda com inclusão de escória	35
Figura 45: Cordão de solda com falta de fusão.....	36
Figura 46: Cordão de solda com falta de penetração	36
Figura 47: Presença de descontinuidade de mordeduras	37
Figura 48: Exemplo formação de trincas	37
Figura 49: Símbolos para distância a borda e espaçamento de fixadores	59
Figura 50: Espessura da garganta de soldas de chanfro em seções sólidas.....	65
Figura 51: Espessura garganta efetiva solda de filete	65
Figura 52: Espessura da garganta com penetração	65
Figura 53: Terminação de soldas de sobreposição.....	78

Figura 54: Soldagem de acabamento	78
Figura A. 1: Anexo Especificação de Procedimento de Soldagem (Frente).....	85
Figura A. 2: Anexo Especificação de Procedimento de Soldagem (Verso).....	86
Figura A. 3: Anexo Registro de Teste de Qualificação de Soldador (Operador de Soldagem)	87
Figura A. 4: Anexo Registro de Qualificação de Soldador	88
Figura A. 5: Juntas Soldadas Pré Qualificadas aplicadas em estruturas metálicas...	89
Figura A. 6: Anexo Exemplo. das informações de juntas pré qualificadas para os processos SMAW, FCAW e GMAW	90

Tabela 1: Propriedades mecânicas parafusos comum e alta resistência.....	19
Tabela 2: Giros aplicados a porca conforme comprimento do parafuso.....	21
Tabela 3: Tabela 4: Diâmetros e área de rosca métricas de passo grosso e fino....	41
Tabela 5: Diâmetros e área de roscas de parafusos unificados UNC e UNF.....	42
Tabela 6: Tipos de parafusos x limitação do valor da força de tração solicitante...50	
Tabela 7: Dimensões máximas de furos para parafusos.....	55
Tabela 8: Dimensões máximas de furos para parafusos em polegadas.....	56
Tabela 9: Dimensões máximas de furos para parafusos em milímetros.....	56
Tabela 10: Dimensões máximas de furos para parafusos em polegadas.....	57
Tabela 11: Dimensões máximas de furos para parafusos em milímetros.....	57
Tabela 12: Espaçamento mínimo e máximo, distâncias de extremidade e borda..	58
Tabela 13: Distância mínima do centro de um furo padrão à borda.....	60
Tabela 14: Distância mínima do centro do furo à borda da peça em polegadas....	61
Tabela 15: Distância mínima do centro do furo à borda em milímetros.....	61
Tabela 16: Valores do incremento de distância da borda em polegadas.....	62
Tabela 17: Valores do incremento de distância da borda em milímetros.....	62
Tabela 18: Espessura da garganta efetiva para juntas soldadas de superfície curva.....	64
Tabela 19: Garganta eficaz de soldas de penetração parcial	66
Tabela 20: Espessura da garganta efetiva para juntas soldadas de superfície alargada.....	67
Tabela 21: Tamanho efetivo da solda em chanfro curvado	68
Tabela 22: Força resistente de cálculo de soldas.....	69
Tabela 23: Resistência mínima à tração do metal solda	69
Tabela 24: Espessura mínima garganta efetiva	75
Tabela 25: Tamanho mínimo da perna do filete	75
Tabela 26: Tamanho mínimo para soldas de filete	77

Quadro 1: Relação Tipos de juntas x Terminologia	31
Quadro 2: Entidades normativas e seus respectivos países de implementação....	38
Quadro 3: Normas aplicadas no dimensionamento de ligações parafusadas.....	39
Quadro 4: Identificação das normas aplicadas no dimensionamento de ligações soldadas	39
Quadro 5: Dimensões máximas de furos para parafusos	56
Quadro 6: Espessura da garganta efetiva de soldas de penetração parcial.....	64
Quadro 7: Quadro resumo das normas aplicáveis no cálculo de dimensionamento de ligações.....	79

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISC	American Institute of Steel Construction
AISI	American Iron and Steel Institute
ASD	Allowable Strength Design
ASME	The American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
CO ₂	Dióxido de Carbono
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
EPS	Especificação de Procedimentos de Soldagem
FCAW	Flux Cored Arc Welding
FEM	Fábrica de Estrutura Metálica
GMAW	Gás Metal Arc Welding
GTAW	Gás Tungsten Arc Welding
ISO	International Organization for Standardization
LRFD	Load and Resistance Factor Design
RQPS	Registro da Qualificação de Procedimentos de Soldagem
RQS	Relação de Soldadores/Operadores de Soldagem Qualificados
SAW	Submerged Arc Welding
SMAW	Shielded Metal Arc Welding

a	Seção transversal bruta do parafuso
A_b	Área bruta do parafuso
A_{be}	Área resistente ou área efetiva de um parafuso
A_{BM}	Área da seção transversal do metal base
A_{ef}	Área efetiva para pressão de contato
$A_{s,nom}$	<i>Área de tensão nominal</i>
A_s	Área de tensão de tração do parafuso
A_w	Área efetiva da garganta
A_{we}	Área efetiva da solda
C_h	Fator de furo
d_w	Diâmetro de resistência efetiva a tração
d_0	Diâmetro do furo para um parafuso
d_1	Diâmetro básico menor da rosca externa de acordo com a ISO 724
d_2	Diâmetro primitivo básico da rosca externa de acordo com ISO 724
d_3	Menor diâmetro rosca externa
d_b	Diâmetro externo parafuso
d_h	Diâmetro da cabeça do parafuso ou diâmetro da arruela
D_u	Um multiplicador referente a razão da pré-tensão média instalada do parafuso para a pré-tensão mínima especificada do parafuso
d_w	Diâmetro da arruela de aço
d_w	Tamanho da perna do filete de solda
e_1	Distância do centro dos orifícios na linha final até a extremidade livre adjacente do flange da estrutura
F'_{nt}	Tensão nominal de tração e cisalhamento
$F_{b,Rd}$	Projeto de resistência de rolamento por parafuso
F_{Fxx}	Número de classificação da resistência do eletrodo
F_m	Tensão final da carga
F_{nBM}	Tensão nominal do metal de solda
F_{nt}	Tensão de tração nominal
F_{nv}	Tensão de cisalhamento nominal
F_{nw}	Tensão nominal do metal base
$F_{p,C}$	Força de pré-carga para parafusos

F_{rv}	Tensão de cisalhamento necessária usando combinações de carga
$F_{t,Rd}$	Força de tração do parafuso
$F_{t,Rd}$	Força de tração solicitante de cálculo nos parafusos, calculada com as combinações últimas;
$F_{t,Sd}$	Força de tração solicitante de cálculo por parafuso
$F_{t,Sk}$	Força de tração solicitante de combinações raras de serviço
F_{Tb}	Força protensão mínima por parafuso;
f_u	Limite de resistência à tração nominal, com menor grau de resistência
$f_{u,PM}$	Resistência nominal à tração final do metal original, que é de menor grau de resistência
f_u	Resistência à ruptura do aço da parede do furo
f_u	Resistência a tração final do aço
F_{u1}	Resistência do membro em contato com a cabeça do parafuso
F_{u2}	Resistência do membro em contato com a cabeça do parafuso
f_{ub}	Resistência à ruptura do aço do parafuso
$F_{v,Rd}$	Força cisalhante do parafuso
$F_{v,Sd}$	Força de cisalhamento solicitante de cálculo do parafuso
F_v	Unidade de tensão permissível
F_{vix}	Componente x de tensão
$F_{vw,d}$	Resistência ao cisalhamento de uma solda
F_{vx}	Força interna total na direção x
$F_{wi,Rd}$	Força resistente de cálculo do filete de número i;
$F_{wl,Rd}$	Força resistente de cálculo total dos filetes de solda situados longitudinalmente à direção da força aplicada
$F_{wt,Rd}$	Força resistente de cálculo total dos filetes de solda situados transversalmente à direção da força aplicada;
$F_{wy,Rd}$	Força resistente de cálculo na direção x;
$F_{wy,Rd}$	Força resistente de cálculo na direção y;
h_f	Fator para cargas;
k_m	Fator de redução de material
k_s	Fator de redução para furos
l_c	Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou do material.
$l_{eff,w}$	Comprimento efetivo da solda de filete

l_f	Distância, na direção da força, entre a borda e o furo adjacente ou a
l_w	Comprimento total da solda;
n_s	Número de planos de deslizamento;
p_1	Espaçamento entre furos de fixadores em uma linha na direção da transferência de força.
P_{nb}	Força nominal
P_{nov}	Força nominal de tração(resistência) da chapa por parafuso
P_{nvs}	Resistência nominal ao cisalhamento do parafuso
R_f	Efeito de cargas fatoradas
R_n	Resistência Nominal
R_{nwl}	Resistência nominal total de soldas de filete carregadas longitudinalmente
R_{nwt}	Resistência nominal total de soldas de filete carregadas transversalmente
t_1	Espessura do membro em contato com a cabeça do parafuso/arruela
t_2	Espessura do membro conectado com a cabeça do parafuso
T_b	Tensão mínima do fixador
t_w	Espessura da arruela de aço
α_b	Fator para calcular a resistência do rolamento
$\alpha_{b,red}$	Fator de redução para calcular resistência de rolamento por parafuso
α_v	Coefficiente em geral
γ_{a2}	Coefficiente de ponderação da resistência do aço para ruptura
γ_e	Coefficiente de ponderação da resistência;
γ_i	Fatores de carga
γ_{M2}	Fator parcial de resistência de parafusos, rebites e soldas
Δ_t	Deformação de elementos de solda em níveis de tensão intermediário.
ϕR_n	Resistência fatorada
A_b	Área nominal do corpo não rosqueado dos parafusos
F_n	Tensão de tração nominal (dados fornecidos por tabela)
R_n	Resistência nominal
Q_i	Carregar efeitos
β_w	Fator de correlação
d	Diâmetro nominal do parafuso

H	Altura do triângulo fundamental da rosca conforme ISO 68-1
L	Comprimento real da solda carregada na extremidade
p	Taxa de deformação do filete “i”, a deformação no elemento em tensão máxima
t	Espessura da chapa/placa/parte ligada
W	Tamanho da perna na solda de filete
α	Coeficiente para conversão de unidades
β	Fator de redução
θ	Ângulo entre a resultante das ações e o eixo longitudinal grupo filetes
μ	Coeficiente de deslizamento médio conforme classe A e B do parafuso;
μ	Coeficiente médio de atrito
μ	Fator de escorregamento
Φ	Fator de resistência
Ω	Fator de segurança
a	Espessura da garganta efetiva
n	Número de planos de atrito
β	Coeficiente de redução

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Estrutura Metálica.....	3
2.1.1 Produtos Siderúrgicos.....	4
2.1.2 Tipos de Produtos Laminados	4
2.2 Ligações.....	16
2.2.1 Ligações Parafusadas	17
2.2.2 Ligações Soldadas	24
3. METODOLOGIA.....	38
3.1 Mapeamento das normas aplicáveis para o cálculo de dimensionamento das ligações parafusadas e soldadas	39
3.2 Princípios de cálculo de dimensionamento de ligações parafusadas.....	40
3.2.1 Áreas de cálculo	40
3.2.2 Forças Resistentes	42
3.2.3 Forças resistentes de parafusos de alta resistência em ligações por atrito.....	52
3.2.4 Dimensionamento e uso de furos e arruelas.....	55
3.2.5 Espaçamento mínimo entre furos.....	57
3.2.6 Espaçamento máximo entre parafusos.....	60
3.2.7 Distância mínima de um furo às bordas	60
3.2.8 Distância máxima de um parafuso às bordas.....	62
3.3 Os princípios de cálculo de dimensionamento de ligações soldadas.....	62
3.3.1 Áreas efetivas	63
3.3.2 Força resistente de cálculo	68
3.3.3 Limitações.....	73
4. ANÁLISE E DISCUSSÕES.....	79
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	82
ANEXOS.....	85
SOBRE OS AUTORES	91

1. INTRODUÇÃO

O descobrimento da utilização dos materiais ferrosos promoveu grandes mudanças nas civilizações antigas, principalmente na agricultura e na confecção de armas mais modernas. No entanto, conforme o Instituto Aço Brasil (2021), a grande mudança só ocorreu em 1856 quando se descobriu como produzir ligas de aço. Chiaverini (1996, p. 21) descreve: “O aço é a liga ferro – carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono[...]”. A adição de carbono à liga, assim como outros elementos residuais como manganês, cromo, níquel e molibdênio, geram propriedades físicas e mecânicas interessantes, servindo de matérias-primas para muitas indústrias, podendo citar: automobilísticas, mecânicas e construção civil.

Diante deste contexto, pode-se destacar o setor siderúrgico, o qual é o responsável por produzir ligas de ferro e aço, visa seu produto final na forma de barras, perfis, tubos e chapas metálicas, as quais são utilizadas como matéria-prima pelas oficinas de fabricação. O incentivo ao crescimento da produção siderúrgica no Brasil, ocorreu devido ao desenvolvimento da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, a primeira fábrica instalada no país. A partir de 1946, foi fundada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), responsável pela criação do departamento conhecido como Fábrica de Estruturas Metálicas (FEM). Este setor, fez parte da estratégia de negócios da empresa para expandir o uso do aço, e a qualificação de mão de obra para trabalhar na área, surgindo assim diversos profissionais como: projetistas, desenhistas, e novos fabricantes (BELLEI, PINHO e PINHO, 2008).

No cenário das ciências aplicadas, a engenharia civil foi a pioneira a trabalhar na aplicação do aço, destacando o concreto armado, o qual é a junção das vantagens do concreto e do aço, que desfruta a boa resistência à compressão do primeiro com a excelente resistência à tração do segundo. Nessas circunstâncias, edifícios cada vez mais altos começaram a ser construídos, sendo o mais famoso, o Edifício Ingalls, celebrado como primeiro arranha-céu do mundo, com apenas 15 andares. A evolução nos padrões arquitetônicos, devem-se as construções leves com um melhor aproveitamento de espaço, econômicas e com grande variedade de formas, como: barras, chapas, entre outros (O Aço na Construção Civil Hoje, 2014).

Outra área que possui papel relevante na implementação e aprimoramento de estrutura metálica na indústria, é a do seguimento de fabricação de bens de capital. As oficinas que trabalham no ramo são responsáveis pela análise de projetos, materiais, montagem, inspeção e manutenção das peças. É durante o processo de montagem das estruturas metálicas, que se observa a necessidade de conexões adequadas entre os elementos, com o intuito de se obter uma resposta positiva quanto ao desempenho da estrutura conforme solicitado em projeto, principalmente no que tange a estabilidade, propiciando mais segurança à peça (PEREIRA e GOMES, 2014).

Em termos recentes, são utilizados parafusos e soldas, com objetivo de permitir uma ligação adequada entre duas peças e proporcionar o comportamento conforme tipologia desejada: permanente ou desmontável. As permanentes se referem as junções contínuas de forma direta entre duas ou mais partes da estrutura, já as desmontáveis são necessárias que haja um dispositivo (parafusos) entre as peças (OLIVEIRA, JUNIOR, *et al.*, 2019, p. 46).

A utilização de parafusos e soldas são geralmente aplicados após a finalização da fabricação da peça solicitada por meio de projetos. Os meios de ligação podem ser considerados fatores determinantes para a vida útil e segurança de uma estrutura, logo, o dimensionamento dessas junções é de suma importância no processo de fabricação e montagem de uma peça metálica.

Diante deste cenário, e com base na realidade encontrada em uma empresa específica que atende outras empresas da região realizando diversos serviços voltados para as ligações parafusadas e soldadas, e que a autora possui contato direto, observou-se a possível contribuição deste estudo. O empreendimento possui responsabilidade em entregar as peças conforme solicitadas em projetos, assim como alertar o cliente sobre os desvios encontrados nos desenhos, logo, o mínimo de conhecimento das normas aplicadas nestas ligações se faz necessário.

Assim sendo, os profissionais envolvidos em uma atividade de ligações de estruturas metálicas precisam conhecer e consultar as normas aplicadas ao processo, a fim de evitar falhas estruturais. Apesar de existir diversos documentos relativos a parafusos e soldas que podem servir de pesquisa em casos de dúvidas, não se encontra facilmente um material unificado que apresente as principais normas e os princípios básicos envolvidos nesses processos de ligações parafusadas e soldadas.

E diante do exposto, o objetivo desse trabalho é elaborar um compêndio, ou seja, uma coleção concisa de informações relativas a uma dada área do saber, que diferentemente da revisão bibliográfica, não exige uma descrição mais ampla e detalhada sobre o assunto. Neste contexto, criou-se esse material que busca apresentar os termos e princípios básicos utilizados no cálculo de dimensionamento das ligações parafusadas e soldadas, assim como as respectivas normas aplicáveis, por meio de um quadro resumo. O quadro possui o intuito de otimizar o tempo de pesquisa do projetista, direcionando-o de maneira assertiva sobre quais normas podem ser consultadas de acordo com cada princípio considerado no cálculo de dimensionamento dessas ligações, fornecendo a informação de quais capítulos e seções são encontrados os determinados assuntos. Além de fornecer opção ao projetista de escolher a norma conforme o que ele considerar adequado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Analisar projetos de fabricação e montagem de estruturas metálicas requer técnica e uma visão organizada de todo processo. Segundo Souza e Sacchi (2017) os tipos de ligações que serão realizadas na estrutura, seja ela soldada ou parafusada, devem ser analisados com cuidado, pois podem gerar falhas, reduzindo a vida útil da peça.

Diante disso, este trabalho enfoca nos aspectos das normas aplicadas ao dimensionamento dos meios de ligação por solda e parafuso (considerados os mais comuns), os quais são responsáveis pela união das partes da estrutura ou a peças/estruturas externas a ela.

2.1 ESTRUTURA METÁLICA

Segundo Teixeira (2021) estrutura metálica é um elemento estrutural, formado por materiais metálicos que possui em sua composição basicamente ferro e carbono, formando uma liga metálica ferroso denominado aço. A aplicação desta liga metálica ferrosa nos produtos e serviços voltados ao mercado civil, siderúrgico, metalúrgico, entre outros do mesmo seguimento, se deve às características físicas e mecânicas que ele fornece proporcionalmente ao seu peso específico.

Nesse contexto, durante o processo da escolha da liga de aço como matéria-prima para a fabricação de uma estrutura, é de suma importância analisar os pontos positivos e negativos que o material proporciona a ela. Pois suas propriedades interferem desde o processo de fabricação até a montagem da base de sustentação. De acordo com Pinheiro (2005, p. 1) pode-se mencionar as seguintes vantagens: nos processos de fabricação a exatidão dada em milímetros é de fundamental importância para a confiabilidade e segurança do material, e nessa condição a liga de aço oferece de forma melhor quando comparada com outros metais; em campo, a estrutura é somente montada, pois todo o processo de fabricação é realizado nas fábricas, isso proporciona um laiaute mais limpo e agilidade na montagem; ligas de aço possuem alta resistência a solicitações mecânicas devido a choques e vibrações; são leves, quando comparadas com outros tipos de estruturas, como, por exemplo, o concreto armado; os elementos estruturais de aço são de fácil montagem e desmontagem, propiciando o reuso deste material em outro equipamento ou local; e finalmente é um tipo de estrutura que permite emendas, diminuindo assim as perdas desse material.

Como todo material, as estruturas metálicas de aço também apresentam algumas desvantagens, dentre elas pode-se citar: o custo de frete e transporte até o local de montagem que pode ser bastante representativo dependendo do projeto e da fabricação da estrutura; a necessidade de proteção contra oxidações e corrosões atmosféricas, exigindo que as peças passem por processos de revestimentos como galvanização e pintura; necessidade de mão de obra mecânica especializada, e equipamentos específicos para

desempenhar algumas atividades; e a dificuldade de encontrar fornecedores para certos tipos de perfis (PINHEIRO, 2005, p. 1).

As estruturas metálicas de aço possuem a versatilidade de se transformar em barras, tubos e chapas de acordo com sua aplicabilidade no momento. Além disso, outras características importantes identificadas nos produtos de aço estão relacionadas às suas propriedades físicas e mecânicas, tais como: ductilidade, fragilidade, resiliência e tenacidade, fadiga, dureza, efeito de temperatura elevada e corrosão (PFEIL e PFEIL, 2009).

2.1.1 Produtos Siderúrgicos

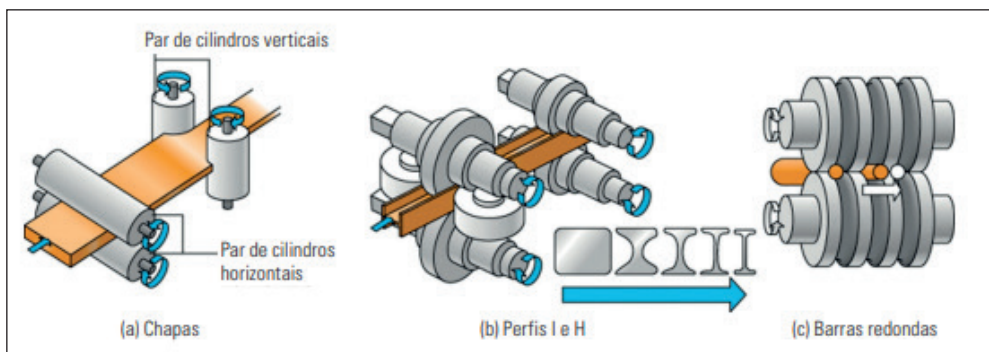
Na área industrial existem vários tipos de produtos estruturais de aço, os quais podemos mencionar: perfis laminados, chapas, barras, tubos, cordoalhas e cabos (PFEIL e PFEIL, 2009), sendo os quatro primeiros os mais comuns a serem solicitados em projetos de fabricação de rotina e os quais serão tratados neste trabalho.

2.1.2 Tipos de Produtos Laminados

A laminação é um processo de fabricação responsável por realizar a deformação de um corpo metálico, para um determinado tipo de aplicação (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Para entender um pouco desse tipo de conformação, pode-se pensar na preparação da montagem de alguns salgados (pastéis e empadas), na qual a massa utilizada geralmente passa no meio de dois cilindros, onde ela tende a ficar mais fina e comprida.

A Figura 1(a) apresenta o processo de laminação de chapa, e as Figura 1(b) e Figura 1(c) ilustra o mesmo processo realizado para perfis e barras redondas respectivamente. Com o intuito de diminuir a espessura, aumentando o comprimento e largura a cada passada, o material passa por rolos cilíndricos que giram em velocidades iguais e sentidos opostos.

Figura 1: (a) Laminação chapas; (b) Laminação Perfis; (c) Laminação barras redondas



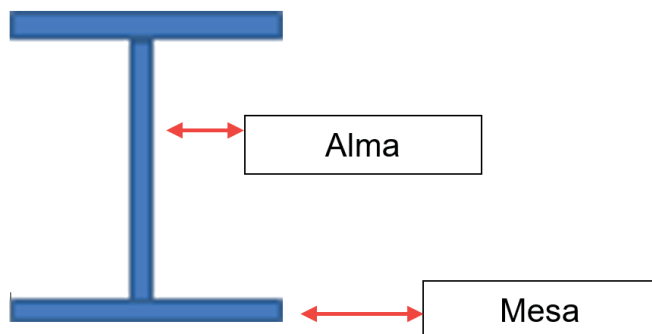
Fonte: Adaptado de (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

2.1.2.1 Perfis

Os perfis são peças metálicas que podem ser obtidas por meio dos seguintes processos: a quente e a frio. O primeiro é conhecido como laminação a quente, no qual o bloco de aço é sucessivamente conformado até se obter o formato desejado. O segundo, trata-se de chapas metálicas que podem ser dobradas por prensas especiais (PFEIL e PFEIL, 2009). De acordo com Neto (2008), no Brasil os perfis laminados são caracterizados por meio da seguinte nomenclatura: **código literal**, **altura** (mm), **massa por unidade de comprimento** (kg/m).

Com base na tabela comercial disponibilizada pela siderúrgica Gerdau Aço Minas (2019), segue a identificação das partes do corpo das peças de perfis (Figura 2) assim como exemplos da designação dos perfis laminados mais utilizados nos processos de fabricação.

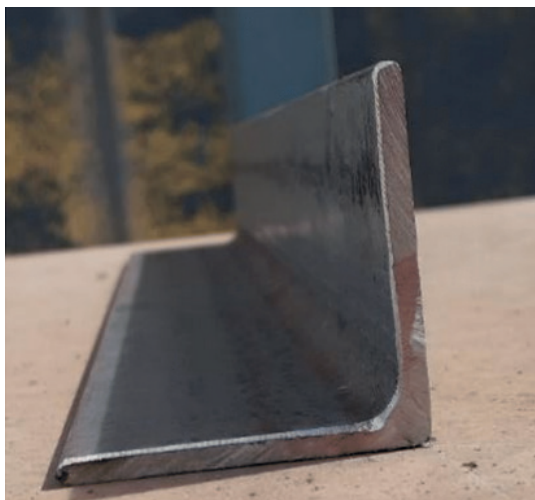
Figura 2: Geometria de um Perfil H



Fonte: Autor

- Cantoneira com abas iguais de 15,880 mm de altura e massa por unidade de comprimento de 0,57 kg/m, encontra-se nos projetos escritos da seguinte forma: L 15,88 x 0,57. Na Figura 3 está representado uma cantoneira utilizada nas laterais de uma chapa de proteção pré-existente, com o intuito de proporcionar um acabamento adequado de uma atividade de substituição de luvas de filtros de manga.

Figura 3: Cantoneiras de abas iguais



Fonte: Autor

- Cantoneira de abas desiguais de 100 mm de altura, 75 mm de largura e 10,71 kg/m, nos projetos encontra-se: L 100 x 75 x 10,71. Na Figura 4 é observado a diferença considerável das abas no sentido horizontal e vertical da peça. Por esse motivo é relevante frisar que esse tipo específico de laminado não é fácil de se encontrar de pronta entrega com a maioria dos fornecedores.

Figura 4: Cantoneira de Abas desiguais



Fonte: Página Web Ferronor Ferro & Aço¹

1. Disponível em: <<https://www.ferronor.com.br/cantoneira-abas-desiguais>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

- Perfil de seção transversal semelhante à letra H, sendo 250 mm de altura e a massa por unidade de comprimento de 62 kg/m, usualmente encontrado nas legendas dos projetos como: H 250 x 62. Na Figura 5 é mostrado que a espessura assim como o tamanho da alma da peça é proporcional ao da mesa, sendo uma das características principais que a diverge de outras peças.

Figura 5: Perfil H



Fonte: Autor

- Perfil de seção transversal semelhante à letra I, com altura de 76,02 mm e massa por unidade de comprimento 8,48 kg/m, denominada nos projetos como: I(W) 76,02 x 8,48. Na Figura 6 é possível notar que a alma possui uma dimensão bem maior que as mesas da peça, além de apresentar espessura mais fina, quando comparadas com o perfil H.

Figura 6: Perfil I



Fonte: Autor

- Perfil de seção transversal semelhante à letra T, com altura de 25,4 mm e massa por unidade de comprimento de 1,18 kg/m, encontra-se nos projetos a seguinte abreviação: T 25,4 x 1,18. Na Figura 7, é apontado a geometria dessa viga, considerando que existe uma alma (aba vertical) e uma mesa (aba horizontal).

Figura 7: Perfil T



Fonte: Autor

- Perfil de seção transversal semelhante à letra U, com altura de 76,2 mm e massa por unidade de comprimento de 7,44 kg/m, nos projetos encontra-se a abreviatura U 76,2 x 7,44. Figura 8, é mostrado uma viga U, empregada como suporte de travamento em uma única estrutura, a qual se encontra em dois andares distintos.

Figura 8: Perfil U



Fonte: Autor

2.1.2.2 Barras

Subdivididas em três categorias, barras quadradas, redondas ou chatas, a característica principal destes laminados é referente a área transversal do material, pois são menores do que o comprimento (PFEIL e PFEIL, 2009). Na Figura 9, Figura 10 e Figura 11 representam as barras quadradas, redondas e chatas respectivamente, as quais pode-se observar que a geometria das peças corresponde a denominação recebida.

Figura 9: Barra Quadrada



Fonte: Autor

Figura 10: Barra Redonda



Fonte: Autor

Figura 11: Barra Chata



Fonte: Autor

2.1.2.3 Chapas

Estes produtos se subdividem em: chapas grossas e finas, onde a espessura é o principal fator que os diferencia. Pfeil (2009) afirma que “As chapas são produtos laminados, nos quais uma dimensão (a espessura) é muito menor que as outras duas (largura e comprimento)”.

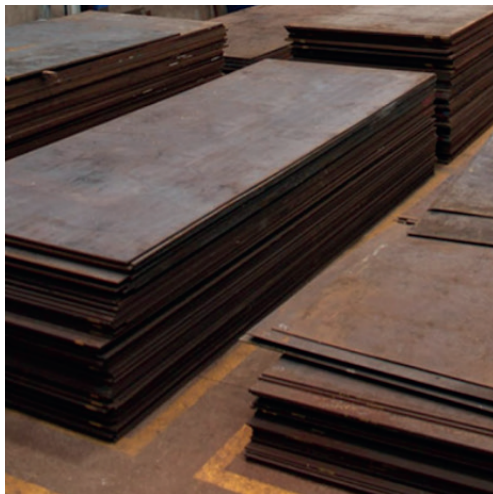
Na Figura 12 e Figura 13 são representadas as chapas grossas e finas, respectivamente, na forma em que elas são entregues pelos fornecedores para ser utilizada no processo de fabricação de uma estrutura.

Figura 12: Chapas Grossas



Fonte: Autor

Figura 13: Chapas Finas



Fonte: Autor

2.1.2.4 Tubos

Além da conformação a quente, os tubos também podem passar por laminação a frio. Essa diferença, faz com que as indústrias siderúrgicas produzam dois tipos de tubos, denominados: tubos sem costura e com costura. Segundo (ARAÚJO, 2020), o primeiro se refere a um processo de extrusão em altas temperaturas sob uma barra circular maciça de aço. Já o segundo, é sob chapas planas, com soldas longitudinal ou helicoidal. Figura 14, é apresentado um tubo sem costura, ou seja, ele não possui uma linha longitudinal de solda na extensão do seu comprimento, diferente da Figura 15, a qual é possível observar a linha se iniciando, conforme apontado pela seta vermelha.

Figura 14: Tubo sem costura



Fonte: Autor

Figura 15: Tubo com costura



Fonte: Autor

2.1.2.5 Aplicações

A aplicação de estruturas metálicas, no que tange a montagem e fabricação dentro das indústrias de bens de capital, são:

- Suporte de sustentação para instalação de sistemas: na Figura 16, é mostrado uma estrutura metálica para instalação de um *hope* (sistema de carregamento de minério).
- Plataformas de acesso: na Figura 17 é exposto como as plataformas de estruturas metálicas são geralmente empregadas na indústria.
- Telhados: Na Figura 18 é retratado as vigas utilizadas para suporte de telhados para coberturas de áreas no parque industrial.
- Escadas: Na Figura 19 é apontado a aplicação de estruturas metálicas nas plataformas de acesso para chegar em algum equipamento ou a outro local da área industrial.
- Pontes Rolantes e Equipamentos de Transporte (Esteiras): Na Figura 20 é exemplificado como as estruturas para pontes rolantes são montadas dentro das indústrias.
- Guarda Corpo: Na Figura 21 é apresentado a aplicação do guarda corpo, o qual é utilizado para proteção de pessoas, devido à altura para o acesso aos equipamentos.
- Portões: Na Figura 22 é mostrado portão já com acabamento e instalado.
- Proteção NR 12: Na Figura 23 é apresentado um exemplo de aplicação de proteção de NR12, a qual é uma grade de estrutura metálica instalada em alguns pontos de um equipamento para prevenir acidentes.

Figura 16: Estrutura metálica para instalação de um hope



Fonte: Autor

Figura 17: Plataforma de Acesso



Fonte: Página Web Cobrimetal²

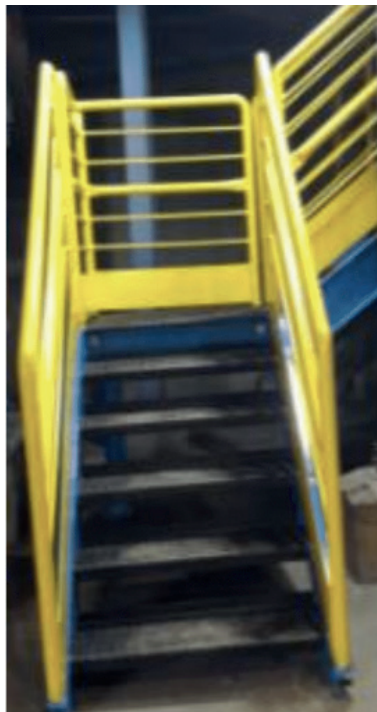
2. Disponível em: < <https://www.cobrimetal.com.br/plataformas-metalicas-industriais>>. Acesso em: 29 jan. 2022

Figura 18: Estrutura empregadas no suporte de telhados



Fonte: Autor

Figura 19: Escada de acesso



Fonte: Autor

Figura 20: Estruturas implantadas no sistema de pontes rolantes das indústrias



Fonte: Página Web CSM³

Figura 21: Guarda Corpo



Fonte: Página Web Calsan Metalúrgica⁴

3. Disponível em: < <https://www.csm.ind.br/engenharia/produto/pontes-rolantes-movimentacao-icamento-de-cargas/>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

4. Disponível em: <<http://www.calsanmetalurgica.com.br/projeto/guarda-corpo-e-escadas/111/>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

Figura 22: Portão



Fonte: Autor

Figura 23: Proteção NR 12



Fonte: Página Web Solutem⁵

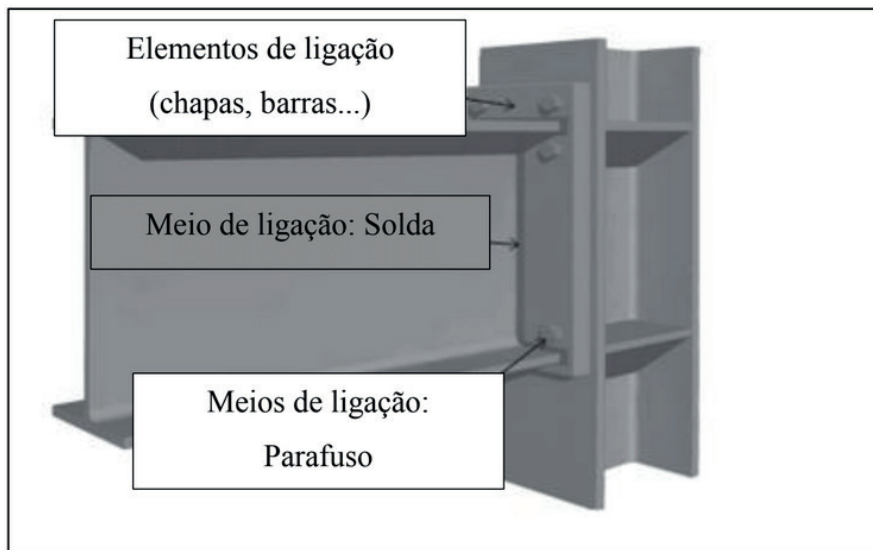
2.2 LIGAÇÕES

Para união de elementos estruturais (chapas, cantoneiras, e outras peças similares) são utilizados meios de ligação, tais como: parafusos, solda, barras redondas rosqueadas, rebites e pinos (NBR 8800:2008). A Figura 24, ilustra uma montagem entre viga e coluna utilizando dois desses meios de ligação.

5. Disponível em: < <https://solutem.com.br/produtos/protacao-de-acoplamento-nr12/>>. Acesso em: 29 jan.2022.

Para garantir segurança, agilidade na montagem e o aumento da vida útil das estruturas é importante analisar a aplicabilidade de cada um dos meios de ligação citados acima. Assim, neste trabalho será dado um enfoque nas ligações soldadas e parafusadas por estarem presentes na maioria dos projetos de fabricação e montagem.

Figura 24: Elementos de ligação e Meios de ligação



Fonte: Adaptado de (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

2.2.1 Ligações Parafusadas

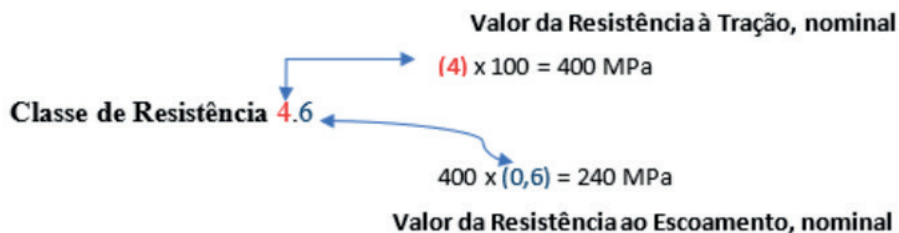
As ligações parafusadas e soldadas são meios de ligação que substituíram o uso dos rebites, sobretudo a partir da década de 50, como meios de fixação desmontáveis, e são amplamente utilizados na montagem em campo e nas fábricas (VALENCIANI, 1997).

Nesse contexto, as ligações parafusadas possuem as seguintes vantagens: redução no prazo de fabricação das peças, pois são geralmente montadas em campo; rápida montagem; não necessidade de energia elétrica para execução do serviço, logo isso não causa limitação quanto a localidade da montagem; boa resposta a tensões por fadiga. Por outro lado, tem-se como desvantagens: a aferição exata da quantidade de parafusos que serão necessários; a dificuldade de adequação da peça se surge alguma interferência após fabricação; verificação de reforço estrutural caso o elemento esteja exposto a áreas líquidas com possíveis esmagamentos (BELLEI, PINHO e PINHO, 2008).

As ligações parafusadas são selecionadas segundo a magnitude da solicitação aplicada na estrutura. Desta forma, nos projetos de fabricação os tipos de parafusos estruturais são classificados quanto a sua classe de resistência que são: ASTM A307 ou ISO classe 4.6 conhecido como parafusos comuns; ASTM A325 ou ISO classe 8.8 e ASTM

A490 ou ISO 10.9, são considerados de alta resistência (NBR 8800:2008). A característica principal que diferencia a classe desses parafusos está relacionada a quantidade de elementos de liga adicionados ao aço durante o processo de fabricação, influenciando na resistência do material, e essa propriedade é identificada nas classes que a norma ISO utiliza para representar seus parafusos. Na Figura 25, é mostrado como exemplo o significado dos números dos parafusos com classe 4.6.

Figura 25: Significado dos números das classes dos parafusos da Norma ISO



Fonte: Adaptado de (GARCIA, 2013)

É necessário frisar que as ligações parafusadas são divididas em dois tipos de conexão, são elas: tipo atrito e tipo contato. A primeira refere-se aos parafusos inseridos sem aperto controlado, enquanto o segundo, está diretamente ligado a força necessária para tracionar os parafusos, a qual é aplicada devido à resistência ao deslizamento.

Assim, para ligação de estruturas que estarão sujeitas a cargas de pequenas intensidades e de natureza estática como o de vigas, terças, plataformas, entre outros similares, o recomendado é a utilização de parafusos comuns, forjados com baixo teor de carbono. No entanto, para estruturas que recebem grandes cargas (estáticas ou dinâmicas), o sugerido é aplicação dos parafusos de alta resistência, os quais são produzidos com aços termicamente tratados. Além disso, os parafusos ASTM A325 e A490 possuem boa resposta quando submetidos a força de tração e cisalhamento (BELLEI, PINHO e PINHO, 2008). Na Tabela 1 são apresentados as dimensões e propriedades mecânicas (tensão de escoamento (F_{yb}) e tensão de ruptura (F_{ub}) destes parafusos.

Tabela 1: Propriedades mecânicas parafusos comum e alta resistência

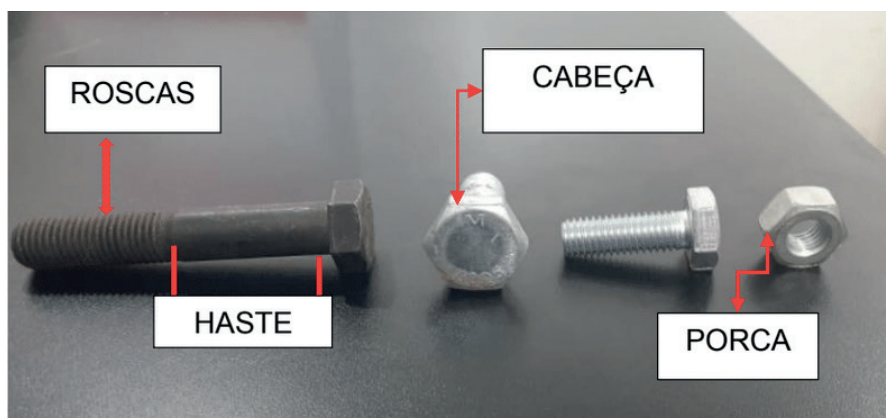
Tipo	Especificação	(F_{yb}) (Mpa)	(F_{ub}) (Mpa)	Material
Comum	ASTM A 307		415	Baixo Carbono
	ISO Classe 4.6	235	400	Baixo e Médio Carbono
	ASTM A 325	635	825	Médio Carbono
		560	725	(temperado e revenido)
Alta Resistência	ISO Classe 8.8	640	800	Médio Carbono (temperado e revenido)
	ASTM A 490	895	1035	Aço Liga (temperado e revenido)
	ISO Classe 10.9	900	1000	Baixo Carbono (temperado e revenido)
	ISO Classe 12.9	1100	1220	Aço Liga Aço
				(temperado e revenido)

Fonte: Adaptado de (BUDYNAS e NISBETT, 2016); (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

2.2.1.1 Parafusos Comuns

Pfeil (2009, p. 63) ao analisar como os parafusos comuns são instalados, afirma que estes “[...] são instalados com aperto que mobiliza atrito entre as chapas[...]”, a resistência ao deslizamento é desprezada durante o dimensionamento. Dessa forma, é relevante frisar que a força aplicada não é uma constante, isto é, o aperto aplicado ao objeto é segundo a necessidade da estrutura, obedecendo às especificações do projeto. Conforme ilustra a Figura 26, geralmente esse tipo de parafuso possui cabeça e porca sextavada, com rosca parcial ou ao longo de seu comprimento.

Figura 26: Estrutura de um parafuso



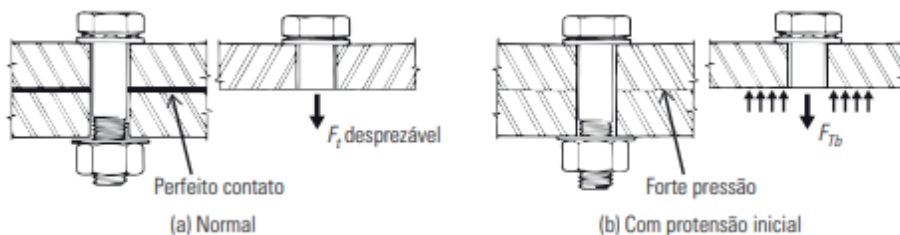
Fonte: Autor

Diante disso, a ligação realizada por essa classe de parafuso, é denominado tipo contato, ou seja, o corpo do parafuso com a parede do furo da estrutura transmite uma força, a qual pode ser por cisalhamento ou tração. Além disso, estes parafusos não são recomendados para estruturas sob condições de fadiga (VALENCIANI, 1997).

2.2.1.2 Parafusos de Alta Resistência

Diferentemente dos parafusos comuns, estes parafusos possuem cabeça e porca hexagonais e possui sua especificação gravada na face externa da cabeça. Outra característica relevante desses parafusos, está relacionado ao tipo de aperto aplicado nesses dispositivos. Sendo estes capazes de receber dois tipos de aperto, são eles: aperto normal (Figura 27 a) o qual é realizado por chave de impacto ou pelo próprio esforço da mão de obra mecânica com uma chave simples, pois a intenção é somente garantir um contato fixo entre as partes unidas, também são aplicados em parafusos comuns; e o aperto com protensão inicial, representada pela letra F_{Tb} (Figura 27 b), ou seja, durante o aperto há uma forte pressão entre as partes conectadas, logo, elas ficam submetidas a uma tensão de compressão na extensão do parafuso, e a resultante corresponde a força de protensão (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016) .

Figura 27: Tipos de aperto aplicados nos parafusos de alta resistência



Fonte: (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

2.2.1.3 Influências presentes no dimensionamento de ligações parafusadas

Com o intuito de obter assertividade nos cálculos de uma estrutura metálica, alguns aspectos são definidos como torque de aperto, tipos de esforços solicitantes e as possíveis falhas.

2.2.1.4 Torque

Ao escolher aplicar a ligação por parafusos, é necessário que se aplique um torque que é geralmente feita com o auxílio de um torquímetro, uma chave de torque pneumática, ou pela previsão da quantidade de giros de aperto da porca (NISBETT e BUDYNAS, 2016). Essas ferramentas são utilizadas com o intuito de garantir que a pré-carga desejada seja atingida.

Os torquímetros possuem uma escala na extensão de sua haste, que indica o torque aplicado. Ao optar por este método é necessário que haja atenção na calibração do instrumento, que essa calibração seja realizada pelo menos uma vez ao dia, ou se houver alteração de diâmetro dos parafusos. De acordo com Fakury, Castro e Silva e Caldas (2016) a calibração dessa chave é realizada “para fornecer uma força de protensão pelo menos 5% superior à força de protensão mínima [...]”.

No método dos giros de aperto da porca antes de iniciar a torção, os parafusos são colocados em contato. Em seguida, podendo-se utilizar uma chave de boca comum, inicia-se o torque, na qual a porca reage contra a base solida da junta, logo, o número de giros que serão necessários está diretamente relacionado ao alongamento do parafuso (VALENCIANI, 1997). Na Tabela 2, é apresentado segundo o comprimento do parafuso, qual a quantidade de giros sugeridas para que a protensão inicial seja alcançada.

Tabela 2: Giros aplicados a porca conforme comprimento do parafuso

Comprimento do parafuso (medido da parte inferior da cabeça à extremidade)	Disposição das faces externas das partes parafusadas		
	Ambas as faces normais ao eixo do parafuso	Uma das faces normal ao eixo do parafuso e a outra face inclinada não mais que 1:20	Ambas as faces inclinadas em relação ao plano normal ao eixo do parafuso não mais que 1:20
Inferior ou igual a 4 diâmetros	1/3 de volta	1/2 volta	2/3 de volta
Acima de 4 diâmetros até, no máximo, 8 diâmetros	1/2 volta	2/3 de volta	5/6 de volta
Acima de 8 diâmetros e até, no máximo, 12 diâmetros	2/3 de volta	5/6 de volta	1 volta

Fonte: Adaptado (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

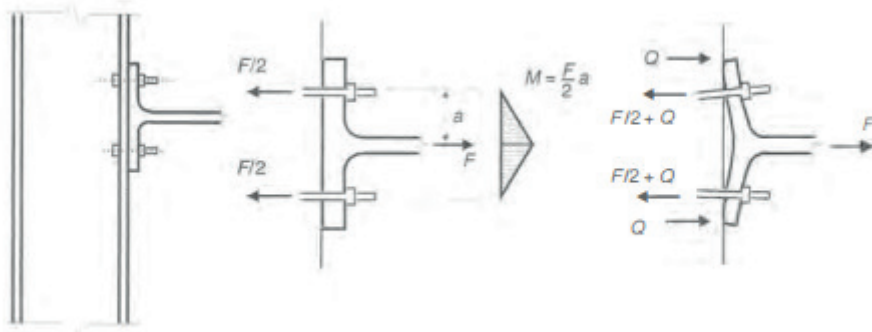
2.2.1.5 Tipos de Esforços Solicitantes das Ligações Parafusadas

O intuito de conhecer os tipos de esforços solicitantes de uma ligação parafusada é garantir qual deve ser a força externa aplicada ao material para não ser excedida, levando-o a falha. Sendo assim, podemos classificá-los da seguinte forma: tração, cisalhamento ou a combinação de ambos (BRASIL, 2021).

Diferentemente do que se pensa, a fixação por meio de parafusos não é realizada somente pela pressão exercida na cabeça da peça, mas também pela força de tração presente no corpo do parafuso, o qual é resultado de uma deformação elástica (o parafuso volta a forma e as dimensões do estado inicial) quando submetidos ao torque (BRASIL,

2021). Para este grupo, a distribuição de forças está diretamente relacionada com a rigidez à flexibilidade do material conectado, por exemplo, imagina-se uma conexão parafusada, na qual existe um flange suficientemente rígido, desconsiderando qualquer tipo de deformação possível, sujeito a um momento fletor, fazendo com que esses parafusos fiquem sujeitos à tração pura. Porém, se essa deformação for considerada, o parafuso ficará submetido a tração e flexão, devido a um efeito chamado alavanca. Na Figura 28 é apresentado os esforços sob tração em parafusos.

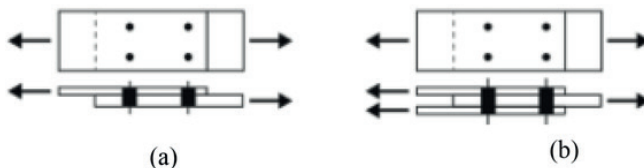
Figura 28: Ligação com parafusos sujeitos à esforço de tração



(PFEIL e PFEIL, 2009)

Para parafusos sob cisalhamento, existem duas classificações: a primeira conhecida como cisalhamento centrado, na qual é possível admitir que a força externa se distribui uniformemente entre todos os parafusos, quando estão próximos à ruptura. Na Figura 29 (a) é exemplificado os parafusos sob cisalhamento simples, enquanto a Figura 29 (b), ilustra os parafusos sob cisalhamento duplo.

Figura 29 (a) Cisalhamento centrado simples (b) Cisalhamento centrado duplo

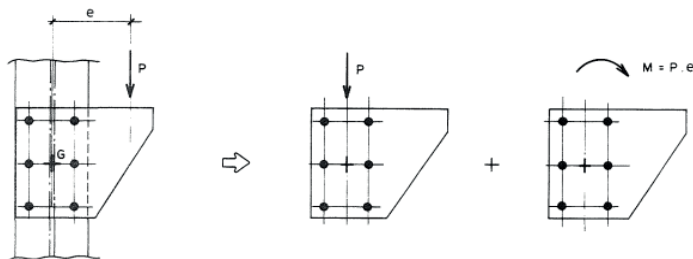


Fonte: (SOUZA, 2017)

A segunda classificação é do grupo de parafusos sob cisalhamento excêntrico, nessa situação, há dois tipos de carregamentos, são eles: força centrada (P) e momento torsor. Vasconcellos (2011) menciona que para esse grupo “A força centrada é admitida

igualmente entre os parafusos (comportamento plástico) [...]”. Essa distribuição uniforme da carga sobre os parafusos faz com que a peça seja considerada rígida. Já para o momento de torção a deformação é a elástica, a qual é proporcional à distância ao centro de gravidade do conjunto e a força normal ao raio vetor. A Figura 30 ilustra como são aplicados os dois tipos de carregamentos citados.

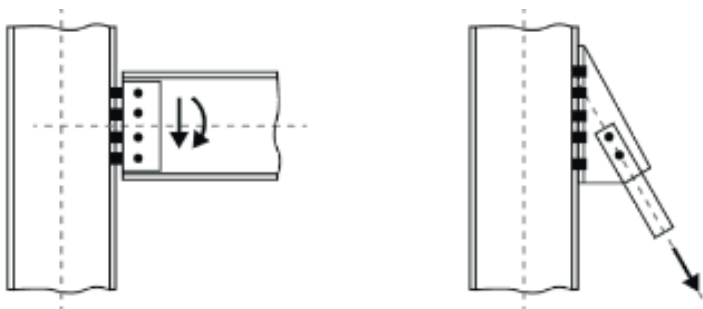
Figura 30: Parafuso sob cisalhamento excêntrico



Fonte: (SÁLES, 1994)

Por fim, a combinação desses esforços que unem simultaneamente, ocorre quando alguns conectores ficam tracionados devido à aplicação de um momento na ligação. Enquanto a força de cisalhamento nos parafusos é distribuída igualmente entre eles (PFEIL e PFEIL, 2009). Na Figura 31 é mostrado a aplicação dos dois esforços.

Figura 31: Esforços combinados tração + cisalhamento



Fonte: (SOUZA, 2017)

2.2.1.6 Falhas

Com base no conhecimento de alguns esforços que podem estar presentes nas ligações parafusadas, é de suma importância apresentar os possíveis mecanismos que levam a ocorrência de falhas nessas juntas. Os modos de falhas mais comuns encontrados nessas ligações se devem a três circunstâncias que a chapa e o parafusos podem sofrer, e são elas: rasgamento, esmagamento e fadiga.

Diante disso, a falha por rasgamento é causada se o furo estiver muito próximo à aresta externa da chapa e pela pressão dos parafusos exercidas nas paredes dos furos. Segundo Norton (2013) “é uma falha por cisalhamento duplo, pois requer que haja deslizamento em ambos os lados do furo para que uma parte do material se separe do restante”. Para diminuir o risco desse tipo de falha, é necessária uma previsão de material suficiente, em torno dos furos da chapa.

A falha por esmagamento geralmente ocorre em junções com apenas um parafuso, pois estão sujeitas a tensões de esmagamento (tensão normal de compressão). Nestes casos, a estrutura sofre uma ondulação fora do plano de ligação. Além disso, é necessário atenção em algumas características que se não identificadas podem mascarar a identificação desse modo de falha, tal como: ondulação fora do plano de ligação, deformação do parafuso, os rasgos estão surgindo em frente ao parafuso ou no centro e em qual direção se propagam (BOLANDIM, 2011).

A falha por fadiga se refere a qualquer fratura frágil na peça devido a tensões variáveis do tempo, mesmo que a estrutura e as conexões sejam feitas de aço dúctil. Essas falhas ocorrem quando se cria pontos concentradores de tensões em alguma região do material, dando início ao estágio inicial das trincas microscópicas na junção parafusada. A etapa de propagação acontece a partir da trinca pontiaguda que existir na estrutura, pois é gerado uma concentração de tensão de tração maior do que a inicial. Por fim, é possível observar o fenômeno da fratura quando o tamanho da trinca cria a condição de igualdade do fator de intensidade de tensão (K) até o de tenacidade à fratura do material (K_{Ic}) (NORTON, 2013).

2.2.2 Ligações Soldadas

As ligações soldadas também são amplamente utilizadas nas estruturas metálicas. Elas são responsáveis por unir duas partes de uma estrutura através da deformação ou fusão dos elementos a serem conectados, utilizando uma fonte de energia elétrica capaz de gerar uma alta temperatura produzindo assim um arco voltaico, na qual após o resfriamento o metal base (peças de aço) e o metal do eletrodo (consumível de solda) passam a ser uma única estrutura (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2009) .

As juntas formadas nas soldas ocorrem entre as peças que não conseguem alcançar uma distância de ordem zero (r_0), ou seja, mesmo após um excelente polimento há resquícios de irregularidades (rugosidades, umidade, gordura e poeira) que impede a aproximação efetiva das superfícies. Com o intuito de sanar esses problemas de aproximação, o método de soldagem é dividido em dois processos principais, tais como: soldagem por pressão (fase sólida) e por fusão (fase líquida). Dentro destes grupos há subgrupos, que são caracterizados segundo o tipo de fonte de energia utilizada (MARQUES,

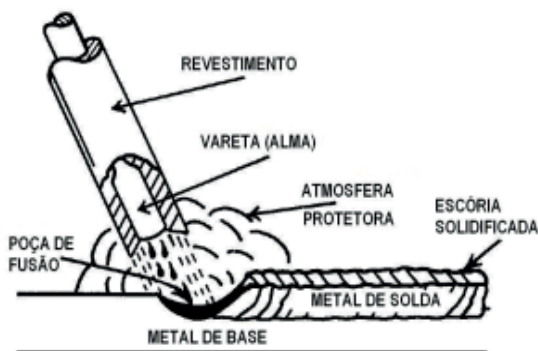
MODENESI e BRACARENSE, 2009). Neste trabalho, será estudado somente as soldas realizadas com a fusão a arco elétrico (fonte de energia), pois são considerados os mais usuais nas ligações soldadas de estruturas metálicas.

A fusão por meio de arco elétrico é um meio de ligação, a fim de unir duas peças utilizando eletrodos metálicos, o qual é aquecido através da alta temperatura gerada no arco elétrico. O calor gerado tem o objetivo de fundir o material de base simultaneamente com o material do eletrodo depositado na união das partes da estrutura (NORTON, 2013). Os processos de soldagem a arco elétrico tradicionais são descritos a seguir:

2.2.2.1 Processo de Soldagem com Eletrodo Revestido (SMAW – Shielded Metal Arc Welding)

É considerado um dos métodos mais antigos e simples utilizados em quase todos os metais, com exceção do cobre puro, metais preciosos e os de baixo ponto de fusão (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2009). Neste processo são utilizados eletrodos ou varetas revestidos por materiais orgânicos, minerais, desoxidantes e outros elementos de liga, os quais possuem um fluxo que se converte num gás protetor inerte e libera escória, os quais protegem o metal soldado de possíveis contaminações com o ar. O revestimento é definido conforme classificação da norma AWS (American Welding Society), a qual a identificação é realizada por meio de uma série de números e letras que concede várias informações referente ao eletrodo relacionados a tensão de ruptura, posição de soldagem permitida, tipos de revestimentos entre outros (SOLDAGEM, p. 24). A Figura 32 é ilustrado o calor de um arco elétrico mantido entre um eletrodo revestido e o metal-base.

Figura 32: Arco elétrico com eletrodo revestido

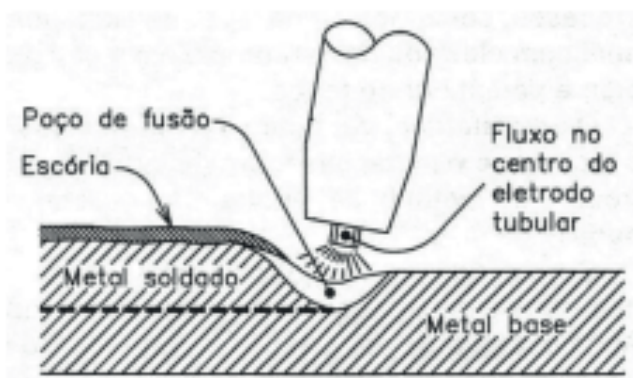


Fonte: (FORTES, 2005)

2.2.2.2 Processo de Soldagem com Eletrodo Tubular (FCAW – Flux Cored Arc Welding)

A geometria do eletrodo para esse processo é um tubo oco, e no seu núcleo contém fluxo de proteção dentro do arame que garante características específicas (Figura 33). Durante o processo, pode ou não haver a necessidade do gás de proteção adicional, isto vai depender se o arame tubular é autoprotégido, isto é, em seu interior o fluxo existente já gera os gases de proteção, não sendo necessário a adição de dióxido de carbono (CO_2) para essa formação. Essa combinação proporciona excelente qualidade e controle na composição química da solda (ESAB, 2022). Esse método é geralmente aplicado em materiais de aço carbono de baixa e alta liga com espessura maior ou igual a um milímetro (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2009).

Figura 33: Soldagem arame tubular

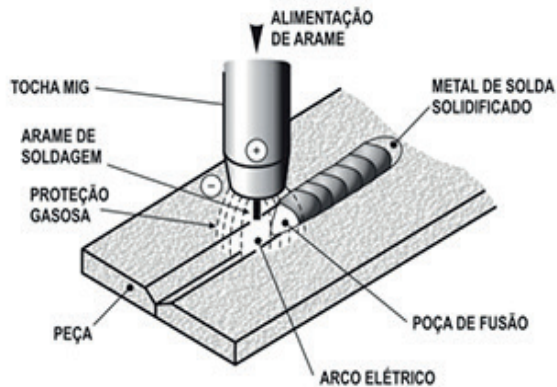


Fonte: (ARGENTA, 2015)

2.2.2.3 Processo de Soldagem MIG/MAG – (GMAW – Gás Metal Arc Welding)

Neste processo o eletrodo é um arame consumível sem revestimento, e durante seu desenvolvimento há necessidade de se gerar uma área de proteção atmosférica, a qual é realizada por meio do gás que alimenta o próprio equipamento, podendo ser inerte ou ativo (Figura 34). O primeiro é conhecido como MIG (*metal inert gas*) e o segundo denominado como MAG (*metal active gás*) respectivamente (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Para essa soldagem, as vantagens estão na possibilidade de grande penetração, alta velocidade e capacidade de soldar em qualquer posição.

Figura 34: Soldagem a arco gás com tocha MIG

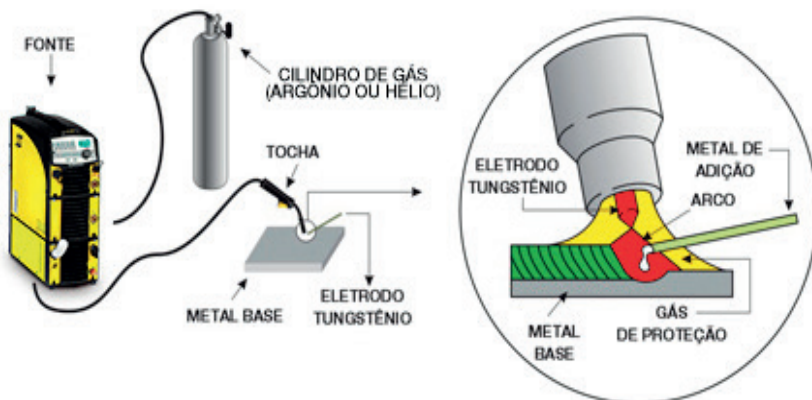


Fonte: (ESAB, 2022)

2.2.2.4 Processo de Soldagem TIG (GTAW – Gás Tungsten Arc Welding)

É um processo que utiliza eletrodo não consumível de tungstênio (Figura 35), por esse motivo também é conhecido como TIG (*tungsten inert gás*). Essa soldagem tem como resultado uma solda limpa e de alta qualidade, com capacidade de aplicação em quase todos os metais e principalmente em ligas de aço inox e alumínio, as quais a integridade da solda é de extrema relevância (NORTON, 2013) .

Figura 35: Soldagem com eletrodo de Tungstênio (TIG)

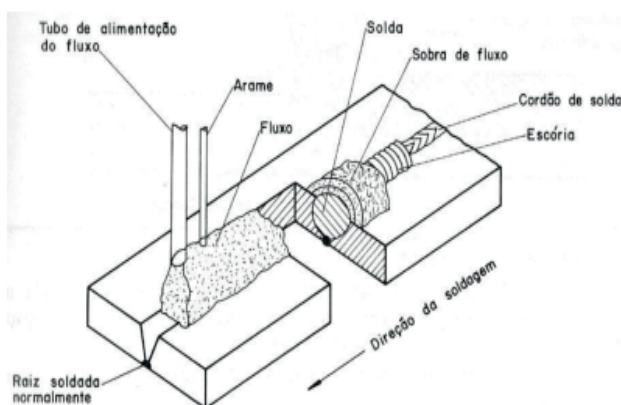


Fonte: (ESAB, 2022)

2.2.2.5 Processo de Soldagem ao Arco Submerso (SAW – Submerged Arc Welding)

Nesse método o arame de solda não é revestido, o fluxo existente é na forma de granulado, onde o material e o consumível ficam submersos, isto é, ocorre o isolamento do material fundido da atmosfera (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Esse tipo de processo é considerado mais automatizado comparados com os outros processos mencionados anteriormente, pois geralmente se faz necessários equipamentos mais robustos como robôs, por esse motivo não são normalmente utilizados em campo (Figura 36).

Figura 36: Soldagem ao Arco Submerso



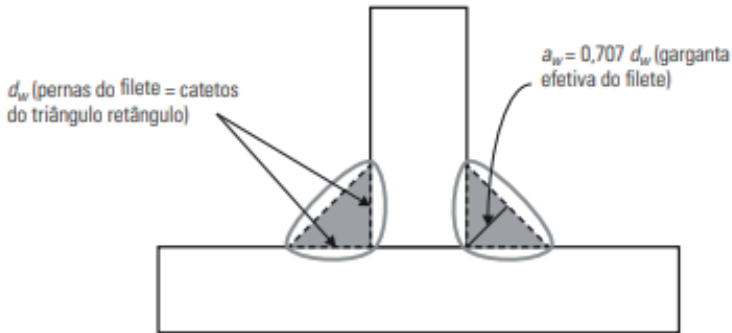
Fonte: (ARGENTA, 2015)

2.2.2.6 Tipos de Solda

Nas estruturas de aço, são normalmente empregados três tipos de cordões de solda, denominados como: solda de filete, entalhe de penetração parcial ou total e tampão (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Cada um destes modelos possui particularidades, e no momento da escolha do cordão ideal a ser empregado se torna relevante observar a finalidade do uso da peça.

A solda de filete apresenta uma seção semelhante a um triângulo, e fica localizado na parte externa da superfície de duas peças geralmente posicionadas ortogonalmente (Figura 37) (GUARNIER, 2009, p. 201). É um tipo de cordão indicado para estruturas que vão receber cargas mais leves, sendo considerada econômica por não precisar adicionar o metal de base. Além disso, elas podem ser contínuas e intermitentes e mais fáceis de executar quando comparadas com outros cordões (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016).

Figura 37: Representação Solda de Filete



Fonte: (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

Já a solda de entalhe é geralmente aplicada quando não é possível realizar a solda de filete. É um tipo de cordão indicado para peças que vão suportar cargas elevadas, pois o metal base é adicionado diretamente entre as faces das peças metálicas, especificadamente no interior de chanfros (LÊDO, 2016). A diferença entre penetração total e parcial, se deve a continuidade da espessura do elemento conectado, isto é, para o primeiro caso a solda atinge as duas faces das peças e possui um cordão continuo completo. Enquanto o segundo, apenas umas das faces é atingida (Figura 38).

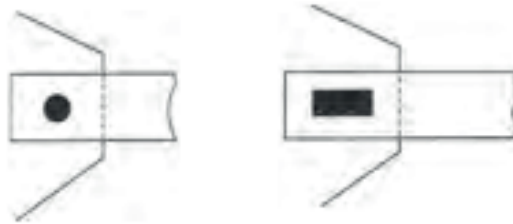
Figura 38: Representação solda de entalhe para ligação de topo



Fonte: (PFEIL e PFEIL, 2009)

Por último a solda de tampão utilizada em situações específicas, quando as de filete e entalhe não podem ser aplicadas. O material é aplicado em furos circulares ou alongados feitos na chapa do metal base (Figura 39) (PFEIL e PFEIL, 2009).

Figura 39: Representação solda de tampão

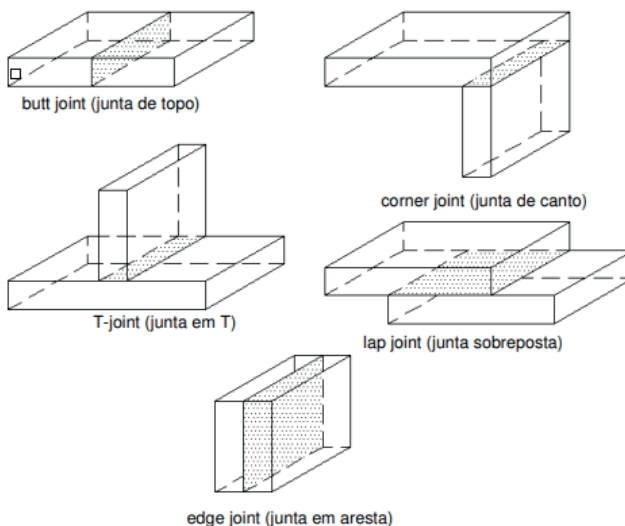


Fonte: (PFEIL e PFEIL, 2009)

2.2.2.7 Tipos de Juntas de Soldagem

Outro fator relevante é quanto a geometria da junta aplicada na ligação de estruturas metálicas, pois pode influenciar na escolha do tipo de processo que será executado. Dessa forma, é necessário observar o posicionamento das peças que serão soldadas, e se há aberturas ou sulcos que precisam da penetração da solda, denominado de chanfro. Após essa análise é possível identificar os tipos existentes de juntas, sendo as principais classificadas em: topo(*butt*), aresta(*edge*), canto(*corner*), ângulo(T) e sobreposta(*lap*), conforme ilustrados na Figura 40 (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2009, p. 30).

Figura 40: Tipos de Juntas



Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2012)

Para cada tipo de geometria mencionado uma letra é associada (Quadro 1), para auxiliar na designação de acordo com o estabelecido pela norma AWS D1.1 (FARID ALFAWAKHIRI, 2010).

Quadro 1: Relação Tipos de juntas x Terminologia

Tipo de Junta	Terminologia
Topo	B (Butt)
Aresta/Borda	E (Edge)
Canto	C (Corner)
Ângulo/ "T"	T (Tee)
Sobreposta	L (Lap)

Fonte: Adaptado de (FARID ALFAWAKHIRI, 2010)

A junta de topo é aplicada para peças que estão no mesmo plano e apresentam aproximação em suas espessuras. Um dos pontos positivos deste processo consiste em eliminar a excentricidade, e isso se deve a geometria responsável pelo direcionamento do fluxo de calor, no qual para este tipo há duas direções. Este tipo de junta, quando realizado com solda de penetração total, interfere no tamanho da ligação e na melhora da estética da solda (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2009, p. 91).

A junta de aresta ou também conhecida como junta de borda, são aquelas aplicadas nas peças que formam um ângulo entre 0° e 30°. Elas possuem a finalidade de mantê-las alinhadas em um determinado plano, através da solda realizada nas bordas (JULIO, p. 36).

A junta de canto é aplicada em colunas e vigas que precisam resistir a esforços torcionais (ARGENTA, 2015). Essas juntas são executadas quando as extremidades das peças são posicionadas para formar um ângulo reto.

A junta de ângulo ou "T", é utilizada em seções de perfis I, H e T, assim como para ligações de enrijecedores, consoles, entre outros similares que formam ângulos retos entre si (ARGENTA, 2015). Isto é, uma solda de seção transversal aproximadamente triangular que une duas superfícies em ângulo.

E por fim, a junta sobreposta, como o próprio nome sugere, é quando as partes do conjunto são colocadas uma sobre a outra. As vantagens principais desse tipo de junta é facilidade de montagem e ligação para peças com mesma ou diferentes espessuras (ARGENTA, 2015).

2.2.2.8 Simbologias de Soldagem

Após conhecer sobre os tipos e geometria das soldas, é interessante distinguir entre símbolo de solda e símbolo de soldagem. A norma AWS (American Welding Society) A2.4 definiu esses termos da seguinte forma: o primeiro indica o tipo de solda (filete, entalhe, tampão...), já o segundo é o responsável por informações específicas para a execução da atividade, por exemplo, profundidade do chanfro, abertura da raiz, se a solda é de campo ou não, entre outros (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2012).

O intuito principal de conhecer as simbologias, é auxiliar na comunicação entre projetista e o fornecedor. Neste trabalho será representado os símbolos mais comuns empregada nas ligações soldadas, segundo a Figura 41.

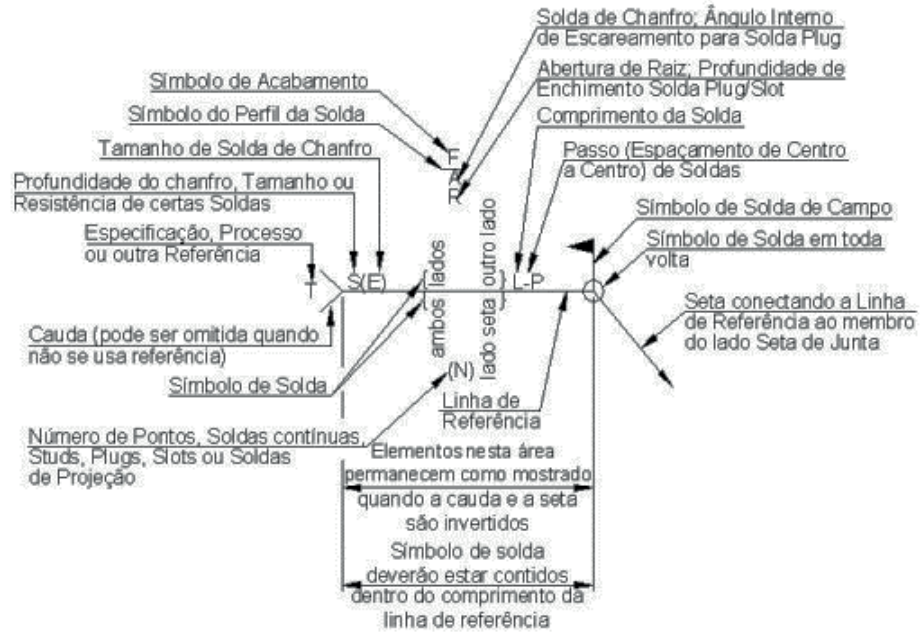
Figura 41: Símbolos de solda

Filete	Tampão	Chanfro			Cobre - Junta	Solda em toda volta	Solda em campo	Acabamento	
		Reto	Meio V	V				Plano	Convexo
									

Fonte: Adaptado (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

Para os símbolos de soldagem somente a linha de referência e a seta que aponta o local da solda são obrigatórios, conforme mostrado na Figura 42.

Figura 42: Símbolo soldagem



Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2012)

2.2.2.9 Qualificação de Procedimentos e Soldadores

Teoricamente, antes de iniciar qualquer atividade relacionada a solda, deve-se verificar as normas de qualificação de procedimento e de soldadores envolvidos no processo. Nelas se encontram códigos e especificações que auxiliam na comunicação

entre o fabricante e o consumidor, além de contribuírem com a padronização entre as empresas de diferentes países, proporcionando maior segurança para as pessoas e meio ambiente (MODENESI, 2005).

As normas que são mais empregadas na qualificação de procedimentos e soldadores, segundo (LUZ, 2018) estão relacionadas abaixo:

- ASME SECTION IX - *Welding and Brazing Qualifications*: Aplicadas em equipamentos como caldeiras, vasos de pressão, e outros.
- API Std. 1104 – *Standard for Welding Pipelines and Related Facilities*: Empregadas exclusivamente para soldagem em oleodutos.
- AWS D1.1 – *AWS Structural Welding Code – Steel*: Empregadas em estruturas soldadas de aço carbono e de baixa liga. Para este trabalho essa norma possui maior aplicabilidade.

Os parâmetros utilizados para garantir que os procedimentos estabelecidos em norma sejam seguidos adequadamente é a elaboração da Especificação de Procedimentos de Soldagem (EPS) e o Registro da Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS). Sendo o primeiro um documento que indica os limites de diversas variáveis e condições do processo de soldagem, seguidas de ensaios e exames da peça de amostra conforme Anexo A.1 e A.2. Enquanto o segundo, determina os resultados dos testes e ensaios requeridos com base na EPS de acordo com o Anexo A.3 (FÁBIO, 2007).

As variáveis analisadas dentro da qualificação de procedimento de soldagem são definidas como: variáveis essenciais, que quando alteradas requerem requalificação, pois afetam diretamente as propriedades da junta soldada. (ex: faixa de espessura, agrupamento de material...); variáveis não essenciais, as quais podem sofrer alteração sem precisar requerer a requalificação, já que não possui impacto significativo nas propriedades mecânicas da junta soldada; e as variáveis suplementares que em caso de alteração sua requalificação só será necessária se for constatado o impacto na junta soldada (LUZ, 2018).

É importante ressaltar que as variáveis a serem consideradas nos formulários dependem do processo de soldagem escolhido, além da norma técnica aplicada. A composição, classe e espessura dos metais-base, tipos de consumíveis, temperatura de pré aquecimento, projeto de junta, são exemplos de algumas variáveis utilizadas na soldagem a arco (MODENESI, 2005).

Para evitar um custo relativamente alto e prazos longos, é interessante que as empresas tenham um banco de dados com esses procedimentos pré-qualificados, e conforme os critérios dos códigos que estão sendo utilizados o executante consiga selecionar e obter a informação necessária com agilidade. E para isso, o manual da *American Institute of Steel Construction* (AISC) juntamente com a norma AWS fornece uma relação de juntas pré-qualificadas, as quais estão isentas de testes e certificações para os seguintes processos de soldagem: SMAW, SAW, GMAW e FCAW. Nos Anexos A.5 e

A.6 é representado os códigos já pré-determinados para maioria das juntas soldadas nas estruturas metálicas, e as informações adquiridas de acordo com o tipo de processo e junta escolhido pelo executante, respectivamente.

Para garantir assertividade nos procedimentos de soldagem, é muito importante a qualificação dos executantes. Assim, similar aos formulários de EPS e RQPS, existe a Relação de Soldadores/Operadores de Soldagem Qualificados (RQS), o qual se trata de um documento com informações resumidas referente a qualificações dos operadores de soldagem. Este registro, tem o intuito de fornecer ao inspetor de solda os dados necessários, além de informar se os soldadores estão obedecendo aos limites das variáveis conforme a norma aplicada, um exemplo deste tipo de formulário é mostrado no anexo A.4 (FÁBIO, 2007, p. 22).

De acordo com o código ASME, as variáveis que fazem parte deste processo de qualificação são: processo de soldagem, tipo de junta, posição de soldagem, tipo de eletrodo, espessura da junta e situação da raiz (MODENESI, 2005). E os ensaios que geralmente são aplicados na qualificação dos soldadores são: inspeção visual da junta, ensaio de dobramento, macrografia, radiografia e ensaios práticos de fatura (MODENESI, 2005). Para que as empresas se mantenham competitivas no mercado, é necessário que haja sempre atualização de treinamentos e aperfeiçoamento destes tópicos.

2.2.2.10 Defeitos de Soldagem

A qualidade de uma solda está diretamente relacionada com a segurança da estrutura. Por essa razão as especificações em norma são fundamentais para garantir que todos os critérios estejam sendo cumpridos adequadamente. Quando uma junta apresenta uma descontinuidade, ou seja, uma interrupção da estrutura esperada, e dependendo da gravidade ela é considerada prejudicial e levam a consequências graves, tais como: redução da capacidade resistente da ligação, problemas de fadiga e a potencialização da corrosão (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016).

De acordo com a AWS existem três categorias básicas de descontinuidades, são elas: descontinuidades dimensionais, descontinuidades estruturais e propriedades inadequadas. Mas neste trabalho o foco será nos defeitos mais comuns encontrados em estruturas de aço, como: porosidade, inclusões de escória, falta de fusão, falta de penetração, mordeduras e trincas (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2009).

Porosidade é uma descontinuidade causada pelo aprisionamento de gases durante a solidificação do metal de solda (Figura 43). Pfeil (2009, p. 92) descreve: “Retenção de pequenas bolhas de gás durante o resfriamento, frequentemente causada por excesso de corrente ou distância excessiva entre eletrodo e a chapa.”

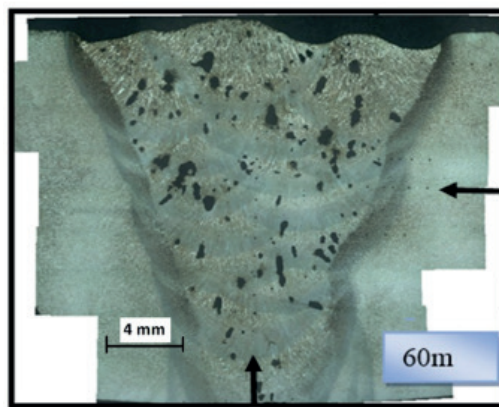
Figura 43: Porosidade em um cordão de solda



Fonte: Autor

Inclusão de escória é quando o fluxo do núcleo do arame se funde e é aprisionado dentro da solda. Segundo Fakury et al (2016, p. 281):” A escória na solda resulta de reações químicas do revestimento do eletrodo derretido e é formado por óxido de metal e outros componentes[...]”. Isso ocorre quando o soldador não remove adequadamente toda a escória que fica entre os passes de solda. Na Figura 44 é representado a escória formada em um cordão de solda realizado com eletrodo E6013.

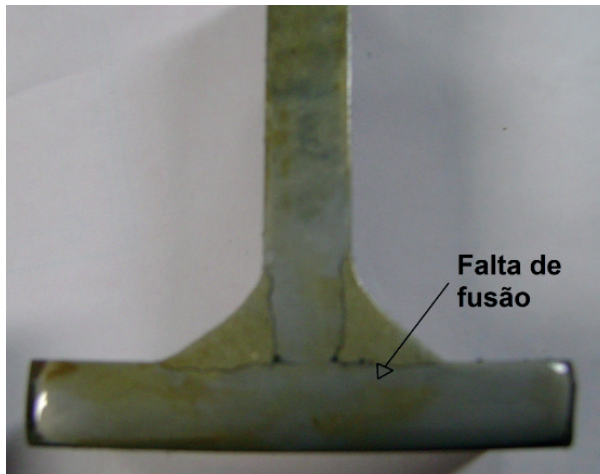
Figura 44:Cordão de solda com inclusão de escória



Fonte: (JACOB, 2017)

A falta de fusão se caracteriza pela ausência de fusão conjunta entre o metal depositado e o metal base (Figura 45). Para Paulo e et al. (2009, p. 105) este defeito ocorre pelos seguintes fatores: “Resulta do não aquecimento adequado do metal presente na junta e/ou da presença de uma camada espessa o suficiente para dificultar a fusão do metal de base.”

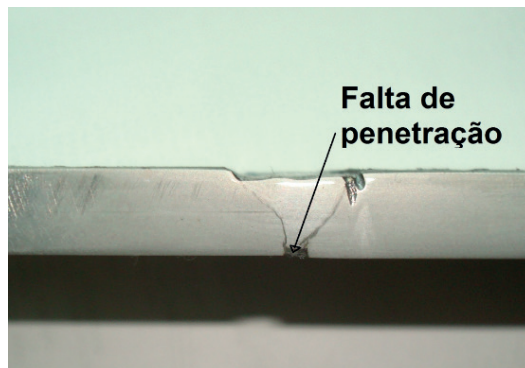
Figura 45: Cordão de solda com falta de fusão



Fonte: (JACOB, 2017)

A falta de penetração é quando a solda apresenta falhas na profundidade especificada, das peças que serão unidas (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). E por essa razão é necessário se atentar para alguns aspectos, tais como: a manipulação do eletrodo, a corrente e a velocidade da soldagem, além da forma que a junta está projetada. Na Figura 46 é representado essa falha no processo de fundição ao encher completamente a raiz da junta.

Figura 46: Cordão de solda com falta de penetração

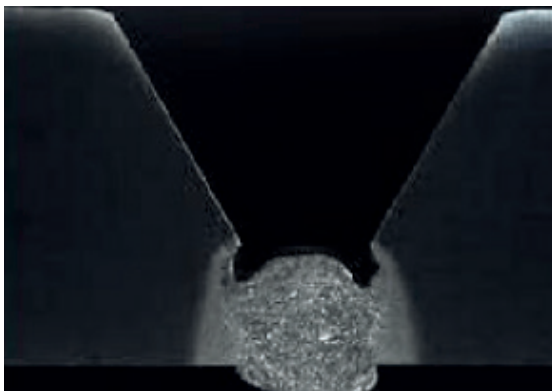


Fonte: (JACOB, 2017)

As mordeduras são descontinuidades que geralmente ocorrem na forma de depressão sob a forma de entalhe entre o metal base e a lateral do cordão de solda (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2009). Fakury et al. (2016, p. 281) descreve: "Pode ser provocada por corrente muito elevada, distância excessiva entre o eletrodo e

o metal base e rapidez exagerada na operação de soldagem”. Na Figura 47, é mostrado sutilmente a presença de mordeduras em um cordão de solda.

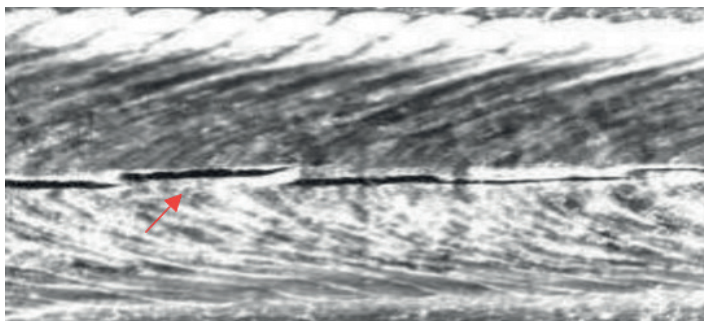
Figura 47: Presença de descontinuidade de mordeduras



Fonte: (QUITES, 2011)

E por fim, as trincas, na qual a sua formação pode ser dividida de duas maneiras, são elas: a frio e a quente. De forma que a primeira ela afeta a microestrutura do metal de solda e a zona termicamente afetada pelo metal base, na qual após atingir temperaturas de fusão ocorre o resfriamento rápido devido à absorção de calor, fazendo surgir microestruturas mais frágeis do que as do aço original (PFEIL e PFEIL, 2009). Enquanto o segundo ocorre no centro da poça de fusão durante o resfriamento. Além disso, neste processo há presença de impurezas, como fósforo e enxofre, que se solidificam a temperaturas menores do que a do aço (PFEIL e PFEIL, 2009). Na Figura 48 é representado uma trinca no centro do cordão de solda.

Figura 48: Exemplo formação de trincas



Fonte: (MONDENESI, MARQUES e SANTOS, 2012)

3. METODOLOGIA

O presente estudo se refere a uma pesquisa descritiva, pois busca descrever as principais normas aplicadas nos princípios do cálculo de dimensionamento das ligações parafusadas e soldadas em estruturas metálicas. Gil (2008), caracteriza esse tipo de pesquisa aquela que descreve um fenômeno ou objeto de estudo e que estabelece relações entre as suas variáveis.

Neste contexto, foi realizado um levantamento dos princípios envolvidos no cálculo, e quais as normas que fornecem informações relevantes para o dimensionamento seguro das ligações. A metodologia envolveu pesquisa nos seguintes materiais: artigos, dissertações, apostilas, livros de autores reconhecidos no meio científico, meios eletrônicos e as próprias normas, com o intuito de obter um consistente embasamento bibliográfico. As palavras-chave introduzidas durante este processo, foram as seguintes: dimensionamento, ligações parafusadas, ligações soldadas, estruturas metálicas e normas.

Em seguida realizou-se uma busca por livros e trabalhos similares ao assunto, com intuito de obter direcionamento sobre quais as normas considerar para o cálculo do dimensionamento de cada ligação. Os documentos encontrados foram baixados nas seguintes plataformas: Google Acadêmico, Periódico Capes, SciElo Brazil, books Google, GedWeb e sites de universidades brasileiras.

Com base nas fontes consultadas, foram identificadas as principais entidades normativas presentes neste tipo de atividade, e seus respectivos países de origem, isto é, local onde se concentra o órgão representativo responsável por elaborá-la. No Quadro 2, são apresentadas as normas que geralmente são solicitadas nos projetos, os quais a autora possui contato no ambiente de trabalho, por essa razão serão elas abordadas neste estudo.

Quadro 2: Entidades normativas e seus respectivos países de implementação

País	Normas
Brasil	ABNT
Suíça	ISO
Países Comunidade Europeia	EUROCODE
Estados Unidos	AISI, ANSI, AWS E AISC

Fonte: (PINHEIRO, 2005, p. 1)

Para estrutura a aplicação dessas normas foi construído um passo a passo dos procedimentos de cálculo do dimensionamento de ligações parafusadas e para ligações soldadas. Em seguida, foi necessária uma pesquisa minuciosa para filtrar e identificar quais as normas requisitadas existentes dentro dessas entidades normativas, pois há uma gama enorme de normas elaboradas “dentro” de cada entidade normativa, e para obter a

seleção de quais são interessantes para este trabalho, foram observados quais continham propriedades básicas necessárias na aplicação do cálculo.

E por fim, após a pesquisa dessas normas, buscou-se elaborar um quadro resumo com as informações pertinentes sobre os princípios básicos aplicados ao cálculo de dimensionamento dessas duas ligações e suas respectivas normas aplicáveis.

3.1 MAPEAMENTO DAS NORMAS APLICÁVEIS PARA O CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES PARAFUSADAS E SOLDADAS

Após a leitura de algumas referências de trabalhos e livros, tais como: (PFEIL e PFEIL, 2009), (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016), (VASCONSELOS, 2011), (VALENCIANI, 1997) e (BUDYNAS e NISBETT, 2016), iniciou-se a seleção das normas aplicáveis, o qual foi estabelecido os seguintes critérios: constar propriedades solicitadas no processo do dimensionamento e/ou apresentar conceitos relevantes referentes a algum passo do procedimento de cálculo das ligações. Assim sendo, elaborou-se uma tabela, inserindo a entidade normativa e consequentemente a identificação das normas relativas às ligações parafusadas e soldadas mais requisitadas em projetos de fabricação e montagem de estruturas metálicas, conforme mostrados no Quadro 3 e Quadro 4 respectivamente. Dessa forma, os projetistas terão um material didático para localizar qual norma pesquisar, quando alguma dúvida surgir sobre o assunto.

Quadro 3: Normas aplicadas no dimensionamento de ligações parafusadas

LIGAÇÃO PARAFUSADA	
ENTIDADE NORMATIVA	NORMA
AISI/AISC	ANSI/AISC 360-16
ABNT	NBR 8800:2008
EUROCODE	EUROCODE 3
ISSO	898-1-2013
AISI	S100 - 16W 151 - 18

Fonte: Autor

Quadro 4: Identificação das normas aplicadas no dimensionamento de ligações soldadas

LIGAÇÃO SOLDADA	
ENTIDADE NORMATIVA	NORMA
AISI/AISC	ANSI/AISC 360-16
ABNT	NBR 8800:2008
EUROCODE	EUROCODE 3
AWS	AWS D 1.1.2010

Fonte: Autor

3.2 PRINCÍPIOS DE CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Para cada tipo de ligação existem alguns critérios que devem ser considerados no momento do cálculo do dimensionamento. Inicialmente buscaram-se estas informações na norma brasileira ABNT NBR 8800:2008, a qual serviu como referência de pesquisa para as próximas normas consultadas. Além disso, observou-se que as monografias e livros que discorriam sobre o tema e que apresentavam algum modelo de aplicação, também utilizavam os mesmos procedimentos. Assim, os princípios básicos considerados no dimensionamento das ligações parafusadas são: áreas de cálculo, força resistente e espaçamento de parafusos (PFEIL e PFEIL, 2009).

3.2.1 Áreas de cálculo

As áreas de cálculo são divididas em duas vertentes, são elas: área efetiva para pressão de contato e área efetiva do parafuso. Sendo que a primeira se refere ao diâmetro do parafuso multiplicado pela espessura da chapa, conforme representado na equação 3.2-1. Enquanto a segunda trata-se de um valor compreendido entre a área bruta e a área da raiz da rosca do parafuso, conforme mostrado na equação 3.2-2 e 3.2-3 (NBR 8800:2008, 2008, p. 76).

$$A_{ef} = d \times t \quad (3.2 -1)$$

Onde:

A_{ef} = área efetiva para pressão de contato

d = diâmetro nominal do parafuso

t = espessura da chapa

$$A_{be} = 0,75 A_b \quad (3.2 -2)$$

Onde:

A_{be} = área resistente ou área efetiva de um parafuso

A_b = área bruta do parafuso

$$A_b = 0,25 \pi d_b^2 \quad (3.2 -3)$$

Onde

d_b = diâmetro externo parafuso

Para a Eurocode 3, AISI/AISC 360-16, ISO 898-1-2013 e AISI S100-16W 151-18, não foi encontrado nenhuma equação direcionada para o cálculo das áreas de cálculo, os termos foram apenas mencionados em alguns momentos da norma. Porém, considerando que o diâmetro de um parafuso e o passo da rosca referente a ele não seja variável, a Tabela 4 e Tabela 5 fornecem as informações necessárias relativas à geometria do parafuso para a aplicação no cálculo de dimensionamento em qualquer norma.

Tabela 3: Tabela 4: Diâmetros e área de rosca métricas de passo grosso e fino

Diâmetro maior nominal d mm	Série de passo grosso			Série de passo fino		
	Passo p mm	Área de tensão de tração A_t mm ²	Área de diâmetro menor A_r mm ²	Passo p mm	Área de tensão de tração A_t mm ²	Área de diâmetro menor A_r mm ²
1,6	0,35	1,27	1,7			
2	0,40	2,07	1,79			
2,5	0,45	3,39	2,98			
3	0,5	5,03	4,47			
3,5	0,6	6,78	6,00			
4	0,7	8,78	7,75			
5	0,8	14,2	12,7			
6	1	20,1	17,9			
8	1,25	36,6	32,8	1	39,2	36,0
10	1,5	58,0	52,3	1,25	61,2	56,3
12	1,75	84,3	76,3	1,25	92,1	86,0
14	2	115	104	1,5	125	116
16	2	157	144	1,5	167	157
20	2,5	245	225	1,5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3,5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4,5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5,5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1,5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

Fonte: (BUDYNAS e NISBETT, 2016, p. 397)

Tabela 5: Diâmetros e área de roscas de parafusos unificados UNC e UNF

Designação de tamanho	Série grossa – UNC			Série fina – UNF			
	Diâmetro maior nominal in	Roscas por polegada N	Área de tensão A_t in ² de tração	Área de diâmetro menor A_s in ²	Roscas por polegada N	Área de tensão de tração A_t in ²	Área de diâmetro menor A_s in ²
0	0,0600				80	0,001 80	0,001 51
1	0,0730	64	0,002 63	0,002 18	72	0,002 78	0,002 37
2	0,0860	56	0,003 70	0,003 10	64	0,003 94	0,003 39
3	0,0990	48	0,004 87	0,004 06	56	0,005 23	0,004 51
4	0,1120	40	0,006 04	0,004 96	48	0,006 61	0,005 66
5	0,1250	40	0,007 96	0,006 72	44	0,008 80	0,007 16
6	0,1380	32	0,009 09	0,007 45	40	0,010 15	0,008 74
8	0,1640	32	0,014 0	0,011 96	36	0,014 74	0,012 85
10	0,1900	24	0,017 5	0,014 50	32	0,020 0	0,017 5
12	0,2160	24	0,024 2	0,020 6	28	0,025 8	0,022 6
$\frac{1}{4}$	0,2500	20	0,031 8	0,026 9	28	0,036 4	0,032 6
$\frac{5}{16}$	0,3125	18	0,052 4	0,045 4	24	0,058 0	0,052 4
$\frac{3}{8}$	0,3750	16	0,077 5	0,067 8	24	0,087 8	0,080 9
$\frac{7}{16}$	0,4375	14	0,106 3	0,093 3	20	0,118 7	0,109 0
$\frac{1}{2}$	0,5000	13	0,1419	0,125 7	20	0,159 9	0,148 6
$\frac{9}{16}$	0,5625	12	0,182	0,162	18	0,203	0,189
$\frac{5}{8}$	0,6250	11	0,226	0,202	18	0,256	0,240
$\frac{3}{4}$	0,7500	10	0,334	0,302	16	0,373	0,351
$\frac{7}{8}$	0,8750	9	0,462	0,419	14	0,509	0,480
1	1,0000	8	0,606	0,551	12	0,663	0,625
$1 \frac{1}{4}$	1,2500	7	0,969	0,890	12	1,073	1,024
$1 \frac{1}{2}$	1,5000	6	1,405	1,294	12	1,581	1,521

Fonte: (BUDYNAS e NISBETT, 2016, p. 398)

3.2.2 Forças Resistentes

As forças resistentes consideradas no cálculo de dimensionamento podem ser segmentadas da seguinte forma: por tração, cisalhamento, pressão de contato em furos, tração e cisalhamento combinados (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Em seguida será explicado brevemente sobre cada um dos termos e suas respectivas equações, nas quais serão aplicadas as propriedades das normas estudadas neste trabalho.

3.2.2.1 Tração

A força de tração resistente de cálculo simbolizada por $F_{t,Rd}$, é dada em função do tipo de ruptura que a peça está sujeita, geralmente ocorrem na região da rosca, causada pelo estado-limite último de ruptura por tração. A equação 3.2.-4 apresenta os requisitos necessários para o dimensionamento adequado (NBR 8800:2008).

$$F_{t,Rd} = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}} \quad (3.2 -4)$$

Sendo,

f_{ub} = a resistência à ruptura do aço do parafuso (dado fornecido em tabela por norma)

$\gamma_{a2} = 1,25$ (coeficiente de ponderação da resistência do aço para ruptura)

Para a AISI S100-16W, a força de tração é calculada considerando alguns critérios, tais como: parafusos que carregam tensão, e arruelas que devem possuir diâmetro maior que 5/16 polegadas (7,94 milímetros) e espessura mínima de 0.050 polegadas (1,27 milímetros) para uma espessura de chapa maior que 0.027 polegadas (0,686 milímetros) (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 111 e 112). A equação 3.2-5 apresenta as variáveis consideradas no dimensionamento.

$$P_{nov} = 1.5 t_1 d_w F_{u1} \quad (3.2 -5)$$

Onde:

P_{nov} = Força nominal de tração (resistência) da chapa por parafuso

t_1 = Espessura do membro em contato com a cabeça do parafuso ou arruela

d_w = Diâmetro de resistência efetiva a tração

F_{u1} = Resistência à tração do membro em contato com a cabeça do parafuso ou arruela

Conforme a norma, o diâmetro de resistência efetiva a força de tração é determinada com as seguintes condições: quando os parafusos apresentam cabeça redonda e/ou sextavada, na qual a arruela também é sextavada, sob a cabeça do parafuso a equação 3.2-6 é aplicada.

$$d_w = d_h + 2t_w + t_1 \leq d_w \quad (3.2 -6)$$

Sendo,

d_h = Diâmetro da cabeça do parafuso ou diâmetro da arruela

t_w = Espessura da arruela de aço

d_w = Diâmetro da arruela de aço

No caso dos parafusos com cabeça redonda e/ou sextavada com arruela sextavada abaixo da cabeça do parafuso a equação 3.2-7 é utilizada.

$$d_w = d_h \text{ (mas não maior que } \frac{3}{4} \text{ polegadas ou 19,1 mm)} \quad (3.2 -7)$$

Se a arruela for abaulada e estiver abaixo do parafuso, a equação 3.2-7 também pode ser considerada, porém, leva-se em consideração que o d_h não pode exceder a $\frac{3}{4}$ polegadas ou 19,1 mm.

Para a norma Eurocode 3 o cálculo se dá por meio da equação 3.2-8 (EUROCODE 3, 2021, p. 48).

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (3.2 -8)$$

Onde:

A_s = área de tensão de tração do parafuso

γ_{M2} = 1.25 (fator parcial de resistência de parafusos, rebites e soldas)

A norma ANSI/AISC 360-16 (2010, p. 131) apresenta o dimensionamento, conforme o projeto de resistência escolhido, os quais se dividem em: Projeto de Carga e Fator de Resistência (LRFD), projeto de estados limites (LSD) e Projeto de Força Permitida (ASD). O cálculo é feito de acordo com a equação 3.2-9, a qual é determinada com os estados limite último de ruptura do parafuso, levando-se em consideração a resistência à tração de projeto (ΦR_n) e a resistência a tração permitida (R_n/Ω).

$$R_n = F_u A_b \quad (3.2 -9)$$

Onde:

R_n = resistência nominal

A_b = área nominal do corpo não rosqueado dos parafusos

F_u = tensão de tração nominal (dados fornecidos por tabela)

Φ = 0,75 (LRFD)

Ω = 2 (ASD)

A norma ISO 898-1:2013 considera o cálculo da resistência à tração baseado na área de tensão nominal e tensão final da carga, como apresentado a seguir pelas equações 3.2-10, 3.2-11 e 3.2-12, respectivamente (ISO 898, 2013, p. 24).

$$R_m = \frac{F_m}{A_{s,nom}} \quad (3.2 -10)$$

$$A_{s,nom} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad (3.2 -11)$$

$$d_3 = d_1 - \frac{H}{6} \quad (3.2 -12)$$

Onde:

F_m = tensão final da carga

$A_{s,nom}$ = área de tensão nominal

d_2 = diâmetro primitivo básico da rosca externa de acordo com ISO 724

d_3 = menor diâmetro rosca externa

d_1 = diâmetro básico menor da rosca externa de acordo com a ISO 724

H = altura do triângulo fundamental da rosca conforme ISO 68-1

3.2.2.2 Cisalhamento

Já a força de cisalhamento, simbolizada por $F_{v,Rd}$, também está relacionada ao estado-limite último de ruptura, porém ela ocorre no plano de corte do parafuso, e para realização do cálculo é utilizada a equação 3.2-13 (NBR 8800:2008, 2008, p. 77).

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} \quad (3.2 -13)$$

Onde:

α_v = é um fator que pode ser igual a 0,4 para plano corte situado na rosca ou 0,5 quando está fora deste plano.

γ_{a2} = coeficiente de ponderação de ruptura, no qual pode-se adotar os valores de 1,35 para casos normais e 1,15 para casos excepcionais.

Para a norma AISI S100-16W, o dimensionamento da resistência nominal ao cisalhamento do parafuso (P_{nvs}) é fornecido por meio da espessura do membro em contato com a cabeça do parafuso (t_1) multiplicado pela resistência do membro em contato com a cabeça do parafuso ou arruela (F_{u1}). Quando se encontra fora do plano de corte,

considera-se a espessura do membro que não está em contato com a cabeça do parafuso ou arruela (t_2), multiplicado pela resistência à tração do membro que não está em contato com o parafuso e arruela (F_{u2}). O fator de segurança permitido é dado segundo o tipo de força atuante, porém para os casos LRFD é considerado 0,5 enquanto para os casos de requisitos de projeto de estados limites (LSD) é adotado 0,4. E para esta norma é considerada a equação 3.2-14 e 3.2-15 (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 111 e 112).

$$P_{nvs} = 0,4 t_1 d F_{u1} \quad (3.2 - 14)$$

$$P_{nvs} = 0,5 t_1 d F_{u1} \quad (3.2 - 15)$$

De forma análoga a NBR 8800, a norma Eurocode 3, considera a mesma equação para esse tipo de força. Porém, ela informa qual equação aplicar, conforme as classes dos parafusos, apresentada na equação 3.2-16. Para a classe 4.6, 5.6 e 8.8 utiliza-se $\alpha_v = 0,6$ e, para 4.8, 5.8 e 10.9 aplica-se $\alpha_v = 0,5$. Além disso, há um valor diferente para o fator de segurança (α_v) quando o plano de corte se situa fora da rosca, conforme é mostrado na equação 3.2-17 (EUROCODE 3, 2021, p. 48) .

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (3.2 - 16)$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (3.2 - 17)$$

Sendo:

A_s = área de tensão de tração do parafuso

A = seção transversal bruta do parafuso

$\gamma_{M2} = 1.25$ (fator parcial de resistência de parafusos)

Para a norma ANSI/AISC 360-16 o cálculo de cisalhamento e tração são os mesmos. Sendo assim, é aplicado a equação 3.2-17 apresentada anteriormente.

3.2.2.3 Pressão de contato em furos

A pressão de contatos em furos, simbolicamente representada por $F_{c,Rd}$, é dimensionada para garantir que não haja ruína na ligação parafusada, e está atrelada a espessura de chapa utilizada, podendo ocorrer o rasgamento entre furo e borda ou

esmagamento nas paredes dos furos. Dessa forma, pode-se ter dois cenários, são eles: furos em qualquer direção e furos muito alongados na direção perpendicular à da força. Outro ponto, é o que tange a origem da deformação no furo, ou seja, se refere ou não a uma limitação de projeto. Para tais situações existem equações diferentes a serem consideradas no momento da verificação do cálculo, conforme apresentado nas equações 3.2-18 e 3.2-19 respectivamente. Enquanto a 3.2-20 trata especificadamente de casos com furos muito alongados na direção perpendicular à força (NBR 8800:2008, p. 77 e 78).

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{2,4 d_b t f_u}{\gamma_{a2}} \quad (3.2 - 18)$$

$$F_{c,Rd} = \frac{1,5 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{3,0 d_b t f_u}{\gamma_{a2}} \quad (3.2 - 19)$$

$$F_{c,Rd} = \frac{1,0 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{2,0 d_b t f_u}{\gamma_{a2}} \quad (3.2 - 20)$$

Sendo,

l_f = a distância, na direção da força, entre a borda e o furo adjacente ou a borda livre

d_b = diâmetro do parafuso

t = espessura da parte ligada

f_u = resistência à ruptura do aço da parede do furo

$\gamma_{a2} = 1,25$ (fator parcial de resistência de parafusos)

A AISI S100-16W também aborda se há ou não deformação do parafuso considerada em projeto, e descreve as restrições para a aplicação das equações nesses casos. Assim sendo, para os casos aonde há deformação aplica-se a equação 3.2-21, considerando como critério a utilização de furos-padrão nas conexões aparafusadas. Quando necessários furos superdimensionados e ranhurados, estes deverão ter aprovação de um projetista, além disso, se aplicados os furos ranhurados tem direção a carga de cisalhamento (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 109).

$$P_{nb} = (4,64 \alpha t + 1,53) d \times t \times f_u \quad (3.2 - 21)$$

Onde:

P_{nb} = força nominal

t = espessura da folha externa

d = diâmetro nominal do parafuso

f_u = resistência à ruptura do aço da parede do furo

α = coeficiente para conversão de unidades

Para a Eurocode 3 é aplicada uma norma similar ao da norma NBR 8800, conforme mostrado na equação 3.2-22. Porém, essa norma apresenta valores diferentes referentes ao fator de segurança e de redução utilizado para calcular a resistência (EUROCODE 3, 2021, p. 48). Devem ser considerados para parafusos de extremidades e internos os seguintes critérios apresentados nas equações 3.2-23 e 3.2-24 respectivamente:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_m \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (3.2 - 22)$$

$$\alpha_b = \min \frac{e_1}{d_0} ; 3 \frac{f_{ub}}{f_u} ; 3 \quad (3.2 - 23)$$

$$\alpha_b = \min \frac{p_1}{d_0} - \frac{1}{2} ; 3 \frac{f_{ub}}{f_u} ; 3 \quad (3.2 - 24)$$

Onde:

$F_{b,Rd}$ = resistência do rolamento de projeto por parafuso

k_m = fator de redução de material para calcular a resistência do rolamento por parafuso

α_b = fator para calcular a resistência do rolamento de projeto por parafuso

f_u = resistência a tração final do aço

d = diâmetro do parafuso

t = espessura da placa

$\gamma_{M2} = 1,25$ (fator parcial de resistência de parafusos)

e_1 = distância do centro dos orifícios na linha final até a extremidade livre adjacente do flange da estrutura

d_0 = diâmetro do furo para um parafuso

f_{ub} = resistência a tração nominal do parafuso

p_1 = espaçamento entre furos de fixadores em uma linha na direção da transferência de força.

$k_m = 0,9$ (Para graus de aços maiores ou igual a S460)

$k_m = 1$ (Para outros tipos de graus)

A Eurocode 3 ainda considera alguns critérios quanto a deformação para estes casos, são eles: quando as deformações do furo do parafuso são limitadas pelo projeto, a resistência ($F_{b,Rd}$), deve ser reduzida. Nesses casos, substitui-se o fator usado para calcular a resistência (α_b) inicialmente aplicado, por um fator de redução ($\alpha_{b,red}$), o qual é obtido por meio da fórmula $\alpha_{b,red} = \min(0,8;2)$; para juntas de sobreposição simples, com direção perpendicular a força, a resistência ($F_{b,Rd}$) não deve exceder a razão do produto entre o diâmetro nominal (d), a espessura do elemento conectado (t), tração nominal do parafuso (f_u), e um coeficiente no valor de 1,5, pelo fator parcial de resistência (γ_{M2}); para parafusos com furos ranhurados no qual a direção do eixo longitudinal do furo com fenda é perpendicular à direção da transferência de força, aplica-se um fator de redução (k_b), que varia segundo o tamanho do parafuso (EUROCODE 3, 2021, p. 49).

Assim como descrito nas normas anteriores, conexões com furos, independente da direção de carregamento ou com fenda paralela à direção da força de rolamento são aplicados pela norma ANSI/AISC 360-16. Para dimensionar a resistência nominal (R_n) do material conectado, considerando como a deformação do furo pode ou não ser inserida no projeto, ela utiliza as equações 3.2-25 e 3.2-26, respectivamente (ANSI/AISC, 2016, p. 136).

$$R_n = 2,4 \times d \times t \times F_u \quad (3.2 - 25)$$

$$R_n = 3 \times d \times t \times F_u \quad (3.2 - 26)$$

Para o rasgamento entre furos ou entre furos e borda aplicam-se as equações 3.2-27 quando a deformação é considerada, e 3.2-28 para quando não é inserida no projeto.

$$R_n = 1,2 l_c t F_u \quad (3.2 - 27)$$

$$R_n = 1,5 l_c t F_u \quad (3.2 - 28)$$

Sendo:

d = diâmetro do parafuso

t = espessura da chapa/placa

F_u = resistência a tração mínima especificada

l_c = distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou do material.

3.2.2.4 Tração e Cisalhamento combinados

A combinação de tração e cisalhamento nos parafusos ocorre quando essas forças se coincidem simultaneamente, a qual deve ser realizada de forma isolada as verificações de cálculo para cada uma dessas forças, conforme mostrado na equação 3.2-29 (NBR 8800:2008). Na Tabela 6 é apresentado os meios de ligação e suas respectivas limitações adicionais do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso.

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (3.2 -29)$$

Onde:

$F_{t,Sd}$ = força de tração solicitante de cálculo por parafuso

$F_{v,Sd}$ = força de cisalhamento solicitante de cálculo do parafuso

$F_{t,Rd}$ = força resistente de tração do parafuso

$F_{v,Rd}$ = força resistente cisalhante do parafuso

Tabela 6: Tipos de parafusos x limitação do valor da força de tração solicitante

Meios de Ligação (Parafusos/ Barras Redondas)	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante
ASTM A307	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,9 F_{v,Sd}$
ASTM A325	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,9 F_{v,Sd}$
	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,5 F_{v,Sd}$
ASTM A490	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,9 F_{v,Sd}$
	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,5 F_{v,Sd}$
Barras rosqueadas em geral	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,9 F_{v,Sd}$

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008)

Para AISI S100-16W a combinação de forças de tração (T) e cisalhamento (V), devem ser menores ou igual aos seguintes critérios: $1,25\Omega \leq 3,0$ (ASD), $\phi/1,25 \geq 0,5$

(LRFD), ou $\Phi/1,25 \geq 0,4$ (LSD), e precisam atender às equações 3.2-30 e 3.2-31 segundo o tipo de projeto escolhido (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 113).

$$\frac{\bar{V}}{P_{nvs}} + \frac{\bar{T}}{P_{nts}} \leq \frac{1.3}{\Omega} \quad (\text{ASD}) \quad (3.2 - 30)$$

$$\frac{\bar{V}}{P_{nvs}} + \frac{\bar{T}}{P_{nts}} \leq 1.3\Phi \quad (\text{LRFD, LSD}) \quad (3.2 - 31)$$

Sendo:

$\bar{V}$ = resistência ao cisalhamento necessária determinadas de acordo com as combinações de carga ASD, LRFD e LSD.

$\bar{T}$ = resistência a tração necessária determinadas de acordo com as combinações de carga ASD, LRFD e LSD.

P_{nvs} = resistência nominal ao cisalhamento do parafuso (dado pelo fabricante)

P_{nts} = resistência nominal à tensão do parafuso (dado pelo fabricante)

Ω = fator de segurança

Φ = fator de resistência

A Eurocode 3 já considera o dimensionamento conforme a equação 3.2-32 (EUROCODE 3, 2021, p. 48).

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right) + \left(\frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad \text{mas} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (3.2 - 32)$$

Sendo:

$F_{v,Ed}$ = força de cisalhamento de projeto por plano;

$F_{v,Rd}$ = resistência ao cisalhamento de projeto de um parafuso

$F_{t,Ed}$ = força de tração do projeto

$F_{t,Rd}$ = resistência à tenção de projeto de um parafuso

Para ANSI/AISC 360-16 a combinação de tração e cisalhamento são determinadas conforme os estados limites de ambos, segundo a equação 3.2-33 (ANSI/AISC, 2016, p. 113).

$$R_n = F'_{nt} A_b \quad (3.2 - 33)$$

Onde,

F'_{nt} = tensão nominal de tração e cisalhamento

A partir do tipo de projeto escolhido o F'_{nt} é calculado conforme as equações 3.2-34 e 3.2-35 apresentadas a seguir:

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \quad (\text{LRFD}) \quad (3.2 - 34)$$

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{\Omega F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \quad (\text{ASD}) \quad (3.2 - 35)$$

Sendo:

F_{nt} = tensão de tração nominal (dado em tabela)

F_{nv} = tensão de cisalhamento nominal (dado em tabela)

f_{rv} = tensão de cisalhamento necessária usando combinações de carga

$\phi = 0,75$ (LRFD)

$\Omega = 2$ (ASD)

A norma ainda salienta sobre a importância da tensão de cisalhamento nominal se igualar ou exceder a tensão de cisalhamento necessária (f_{rv}).

3.2.3 Forças resistentes de parafusos de alta resistência em ligações por atrito

Por fim, a força resistente de parafusos de alta resistência em ligações por atrito são dimensionadas se houver deslizamento, ocasionando um estado-limite último (deformações maiores) ou de serviço (deformações menores), que são provenientes de uma folga existente nos furos (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Conforme a NBR 8800 (2008, p. 79) a equação 3.2-36 é aplicada para o cálculo quando há deslizamento em um estado-limite último, enquanto, a equação 3.2-37 para os casos de estado-limite de serviço.

$$F_{t,Rd} = \frac{1,13 \mu C_h F_{Tb} n_s}{\gamma_e} \left(1 - \frac{F_{t,Rd}}{1,13 F_{Tb}} \right) \quad (3.2 - 36)$$

Sendo:

F_{Tb} = força protensão mínima por parafuso;

$F_{t,Rd}$ = força de tração solicitante de cálculo nos parafusos, calculada com as combinações ultimas;

n_s = número de planos de deslizamento;

γ_e = coeficiente de ponderação da resistência;

μ = coeficiente médio de atrito em superfícies laminadas, galvanizadas, jateadas

C_h = é um fator de furo

O coeficiente médio de atrito é determinado conforme a superfície do elemento conectado, sendo: 0,35 para superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos/graxas, sem pintura e para as galvanizadas a quente com rugosidade aumentada por meio de escova de aço; 0,5 para as superfícies jateadas em pintura; e 0,2 para superfícies galvanizadas a quente.

O fator de furo é aplicado com o intuito de evitar o deslizamento entre os componentes da ligação. Sendo assim, aplicam-se os seguintes valores conforme o tipo de furo: 1,0 para furo-padrão; 0,85 furos alargados e 0,7 para muito alongados.

$$F_{f,Rk} = 0,80 \mu C_h F_{Tb} n_s \left(1 - \frac{F_{t,Sk}}{0,80 F_{Tb}} \right) \quad (3.2 - 37)$$

$F_{t,Sk}$ = força de tração solicitante de combinações raras de serviço

A AISI S100-16W considera que a resistência de um elemento estrutural é verificada por meio dos estados limites últimos e de serviço. Assim sendo, os requisitos de projeto de estados limites de forma geral podem ser dimensionados conforme a equação 3.2-38 (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 283).

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \text{ ou } \phi R_n \geq R_f \quad (3.2 - 38)$$

Onde:

$R_f = \sum \gamma_i Q_i$ = Efeito de cargas fatoradas

R_n = resistência nominal

ϕ = fator de resistência

γ_i = fatores de carga

Q_i = carregar efeitos

ϕR_n = resistência fatorada

Sendo assim, a norma faz algumas considerações referentes as variáveis aplicadas na equação. Inicialmente ela explica sobre a resistência nominal, a qual é calculada para

as propriedades de seção nominal e para propriedades mínimas de material especificada conforme o modelo analítico apropriado que define a resistência. Quanto ao efeito fatorado, trata-se do produto entre o fator de resistência (Φ) que é aplicado e a resistência nominal (R_n) do elemento. E enfatiza que o fator de resistência não cobre erros humanos grosseiros. Por fim, os efeitos de carga (Q_i) referem-se às forças na seção transversal, isto é, momento fletor, força axial ou de cisalhamento que são determinadas a partir das cargas nominais. E, os fatores de carga (γ_i) consideram as incertezas e variabilidades das cargas (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 284).

A Eurocode 3 já apresenta o dimensionamento para parafusos pré-carregados por meio da equação 3.2-39 e 3.2-40 e em conexão antiderrapante submetidos a tração e cisalhamento combinados. A norma também considera os estados limites ultimo simbolicamente representada por $F_{s,Rd}$ e de serviço do parafuso $F_{s,Rd,ser}$ (EUROCODE 3, 2021, p. 57). De forma geral o estado limite último é quando a estrutura possui risco iminente e deve ser reparado imediatamente, já o estado limite de serviço apresenta problemas, como altas vibrações e fissuras, ou seja, problemas fora do padrão normal de funcionamento, porém a estrutura consegue ainda ser utilizada.

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} \quad (3.2 - 39)$$

(Estado limite último)

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} \quad (3.2 - 40)$$

(Estado limite de serviço)

A norma divide as conexões parafusadas em categorias A, B, C, D e E. Para esta pesquisa serão utilizadas as três primeiras, sendo A do tipo rolamento, B antiderrapante do estado limite de serviço e C antiderrapante no estado limite último. Para as categorias B e C são aplicadas as equações 3.2-41 e 3.2-42.

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}} \quad (3.2 - 41)$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \quad (3.2 - 42)$$

Onde:

K_s = fator de redução para furos (dado em tabela)

n = número de planos de atrito

μ = fator de escorregamento (obtido por ensaios específicos ou tabelado)

$F_{p,C}$ = força de pré – carga para parafusos, obtidos por meio: $F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$

A ANSI/AISC 360-16 aplica o cálculo de dimensionamento para esses casos, considerando os estados limites, com intuito de evitar deslizamento nas conexões parafusadas, segundo a equação 3.2-43. O valor dos fatores de resistência (Φ) e de segurança (Ω) varia conforme o tipo de projeto escolhido (ANSI/AISC, 2016, p. 134).

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s \quad (3.2 - 43)$$

Sendo,

$D_u = 1.13$, um multiplicador referente a razão da pré-tensão média instalada do parafuso para a pré tensão mínima especificada do parafuso. O uso de outro valor só é permitido por meio de aprovação do engenheiro responsável;

μ = coeficiente de deslizamento médio conforme classe A e B do parafuso;

h_f = fator para cargas;

T_b = tensão mínima do fixador (dados fornecidos em tabela)

n_s = número de planos de deslizamento necessários para a conexão deslizar.

3.2.4 Dimensionamento e uso de furos e arruelas

Para o dimensionamento do espaçamento de furos, existem quatro casos: furos-padrão, furos alongados, furos pouco alongados e muito alongado. Ressalta-se que os três últimos casos, respectivamente, são aplicados em situações específicas (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Estes furos são realizados na placa ou elemento a ser conectado.

Para a NBR 8800:2008 a Tabela 7 e o Quadro 5 apresentam as dimensões máximas de furos, e as limitações para ligações com furos alargados ou alongados respectivamente.

Tabela 7: Dimensões máximas de furos para parafusos

Medida	Diâmetros			Dimensão	
	db	Furo Padrão	Furo Alargado	Furo pouco alongado	Furo muito alongado
Milímetros	≤ 24	db + 1,5	db + 5	(db + 1,5) * (db + 6)	(db + 1,5) * 2,5db
	27	28,5	33	28,5 * 35	28,5 * 67,5
	≥ 30	db + 1,5	db + 8	(db + 1,5) * (db + 9,5)	(db + 1,5) * 2,5db
Polegadas	$\leq 7/8$	db + 1/16	db + 3/16	(db + 1/16) * (db + 1/4)	(db + 1/16) * 2,5db
	1	11/16	11/4	11/16 * 15/16	11/16 * 2.1/2
	≥ 1.1	db + 1/16	db + 5/16	(db + 1/16) * (db + 3/8)	(db + 1/16) * 2,5db

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008, 2008)

Quadro 5: Dimensões máximas de furos para parafusos

Tipo de furo	Tipo de furo	Limitações	
		Posição do furo	Arruelas
Alargado	Por atrito	Em qualquer uma ou em todas as chapas de ligação	Endurecidas, sobre furos alargados em chapas externas da ligação
Pouco Alongado	Por atrito	Em qualquer uma ou em todas as chapas de ligação. Qualquer posição, independentemente da direção da solicitação	Sobre furos pouco alongados em chapas externas da ligação devem ser usadas arruelas, que devem ser endurecidas quando os parafusos forem de alta resistência
	Por contato	Em qualquer uma ou em todas as chapas de ligação. Maior dimensão normal à direção da solicitação	
Muito Alongado	Por atrito	Em somente uma das partes da ligação, para a mesma superfície de contato. Qualquer posição, independentemente da direção da solicitação	Arruelas de chapa ou barras chatas contínuas, de aço estruturas, com espessura mínima de 8mm e com furos-padrão, devem ser usadas sobre furos muito alongados em chapas externas. Tais arruelas ou barras devem ter dimensões suficientes para cobrir totalmente os furos alongados após a instalação dos parafusos. Quando for necessário usar arruelas endurecidas, estas serão colocadas sobre aquelas arruelas de chapas ou barras contínuas.
	Por contato	Em somente uma das partes da ligação, para a mesma superfície de contato. Maior dimensão normal à direção da solicitação	

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008, 2008)

Para a AISI S100-16W os furos para parafusos não devem exceder os tamanhos especificados nas Tabela 8 e Tabela 9, respectivamente.

Tabela 8: Dimensões máximas de furos para parafusos em polegadas

Diâmetros			Dimensão		
Nominal do Parafuso, d	Furo Padrão	Furo Alargado	Furo fenda curta	Furo fenda longa	Alternativa Furo fenda curta
$d < 1/2$	$d + 1/32$	$d + 1/16$	$(d + 1/32) * (d + 1/4)$	$(d + 1/32) * (2.1/2 d)$	
$1/2 \leq d < 1$	$d + 1/16$	$d + 1/8$	$(d + 1/16) * (d + 1/4)$	$(d + 1/16) * (2.1/2 d)$	$9/16 * 7/8$
$d = 1/2$	$1. 1/8$	$1. 1/4$	$(1.1/8) * (1.5/16)$	$(1/8) * (2.1/2)$	
$d \geq 1/2$	$d + 1/8$	$d + 5/16$	$(d + 1/8) * (d + 3/8)$	$(d + 1/8) * (2.1/2 d)$	

Fonte: Adaptado (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 163)

Tabela 9: Dimensões máximas de furos para parafusos em milímetros

Diâmetros			Dimensão		
Nominal do Parafuso, d	Furo Padrão	Furo Alargado	Furo fenda curta	Furo fenda longa	Alternativa Furo fenda curta
$d < 1/2$	$d + 1$	$d + 1$	$(d + 1) * (d + 6)$	$(d + 1) * (2.1/2 d)$	
$12 \leq d \leq 20$	$d + 2$	$d + 4$	$(d + 2) * (d + 6)$	$(d + 2) * (2.1/2 d)$	$15 * 23$
$20 < d < 24$	$d + 2$	$d + 6$	$(d + 2) * (d + 8)$	$(d + 2) * (2.1/2 d)$	
$d = 24$	27	30	$27 * 32$	$27 * 60$	
$d > 24$	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) * (d + 10)$	$(d + 3) * (2.1/2 d)$	

Fonte: Adaptado (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 163)

A AISI/AISC 360-16 fornece a Tabela 10 e Tabela 11 em milímetros e polegadas, respectivamente, com as dimensões que devem ser consideradas para os tamanhos dos furos.

Tabela 10: Dimensões máximas de furos para parafusos em polegadas

Diâmetro Parafuso	Dimensões Furo			
	Padrão	Alongado	Fenda curta (largura x comprimento)	Fenda alongada (largura x comprimento)
1/2	9/16	5/8	9/16 x 11/16	9/16 x 1.1/4
5/8	11/16	13/16	11/16 x 7/8	11/16 x 1.9/16
3/4	13/16	15/16	13/16 x 1	13/16 x 1.7/8
7/8	15/16	1.1/16	15/16 x 1.1/8	15/16 x 2.3/16
1	1.1/8	1.1/4	1.1/8 x 1.5/16	1.1/8 x 2.1/2
≥ 1.1/8	d+ 1/8	d+ 5/16	(d+ 5/8) x (d+ 3/8)	(d+ 1/8) x (2,5d)

Fonte: Adaptado (ANSI/AISC, 2016, p. 130)

Tabela 11: Dimensões máximas de furos para parafusos em milímetros

Diâmetro Parafuso	Dimensões Furo			
	Padrão	Alongado	Fenda Curta (largura x comprimento)	Fenda Alongada (largura x comprimento)
M16	18	20	18 * 22	18 * 40
M20	22	24	22 * 26	22 * 50
M22	24	28	24 * 30	24 * 55
M24	27	30	27 * 32	27 * 60
M27	30	35	30 * 37	30 * 67
M30	33	38	33 * 40	33 * 75
≥ M36	d + 3	d + 8	(d + 3) * (d + 10)	(d + 3) * 2,5d

Fonte: Adaptado (ANSI/AISC, 2016, p. 130)

3.2.5 Espaçamento mínimo entre furos

Após o furo no elemento de conexão, é necessário o dimensionamento do espaçamento de um furo a outro furo, e entre o furo e a borda. A norma NBR 8800:2008, caracteriza que a distância entre centros de furos -padrão, alargados ou alongados, não devem ser inferiores a 2,7 , mas sim 3 , no qual refere-se ao diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada. E ainda menciona que para os casos em que haja dois furos consecutivos, a distância livre entre as bordas dos mesmos não deve ser inferior a (NBR 8800:2008, p. 84).

Para a AISI S100-16W o espaçamento entre os centros dos fixadores também deve ser inferior a 3, assim, pela nomenclatura da norma o refere-se ao diâmetro nominal

do parafuso. E ressalta, que essa distância deve conceder folga para as cabeças dos parafusos, porcas, arruelas e a chave. Para furos adjacentes e superdimensionados, distância livre entre as bordas não deve ser menor que 2 (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 107).

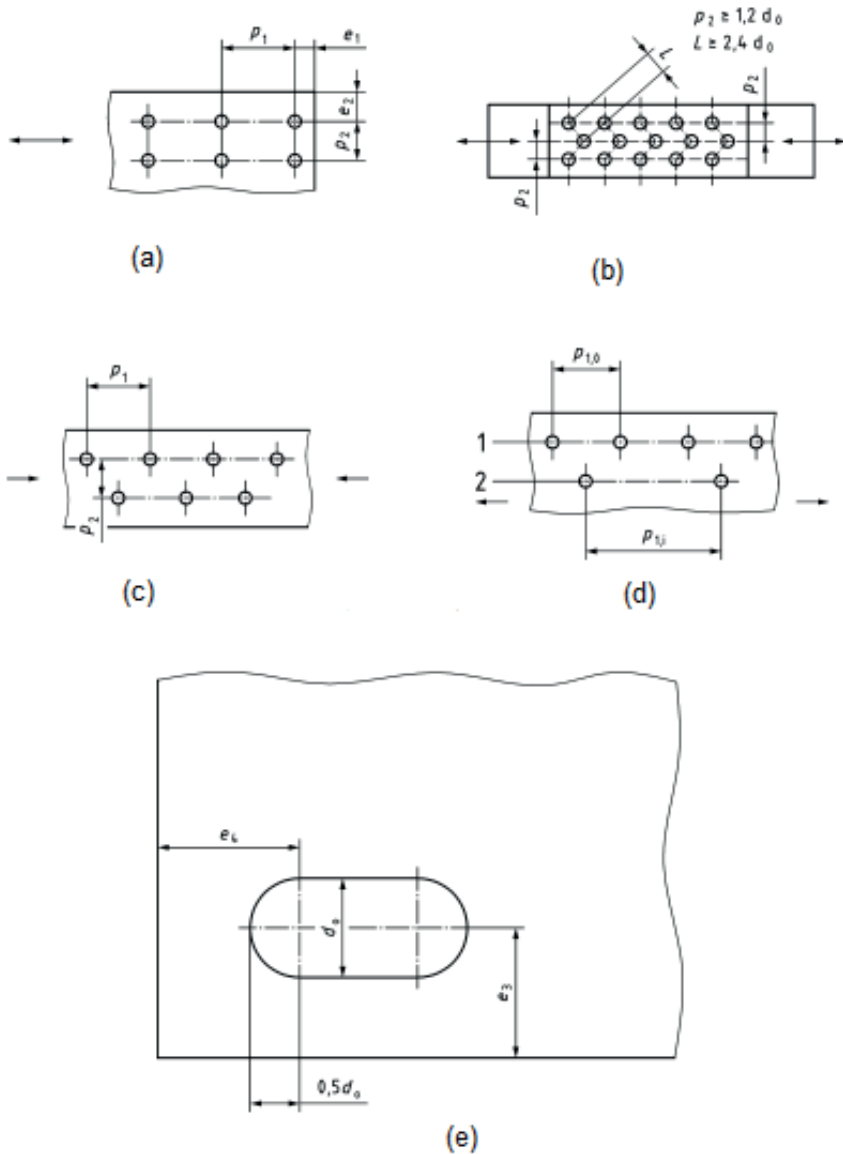
A norma Eurocode 3 adota a Tabela 12 com todos os critérios necessários para considerar o espaçamento mínimo e máximo e as distâncias de extremidade e bordas para os parafusos. Além disso, a norma fornece as seguintes simbologias: (a) espaçamento de fixadores, (b) escalonado, (c) escalonado no membro de compressão, (d) escalonado no membro de tensão e (e) distância de extremidade e borda para furos ranhurados, conforme apresentado na Figura 49 respectivamente.

Tabela 12: Espaçamento mínimo e máximo, distâncias de extremidade e borda

Distâncias e espaçamento	Mínimo	Máximo		
		Estruturas de aço conforme EN 10025, exceto os aços da série EN 10025-5		Estruturas de aço conforme EN 10025-5
		Aços expostos às intempéries e outras influências corrosivas	Aços não expostos às intempéries e outras influências corrosivas	Aço usado sem proteção
Distância Final e_1	$1,2 d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	N/A	O menor de 8t ou 125 mm
Distância Final e_2	$1,2 d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	N/A	O menor de 8t ou 125 mm
Distância e_3 em furos com fenda	$1,5 d_0$	N/A	N/A	N/A
Distância e_4 em furos com fenda	$1,5 d_0$	N/A	N/A	N/A
Espaçamento p_1	$2,2 d_0$	O menor de 14t ou 200 mm	O menor de 14t ou 200 mm	O menor de $14t_{\min}$ ou 175 mm
Espaçamento $p_{1,0}$	$2,2 d_0$	O menor de 14t ou 200 mm	N/A	N/A
Espaçamento $p_{1,i}$	$2,2 d_0$	O menor de 28t ou 400 mm	N/A	N/A
Espaçamento p_2	$2,4 d_0$	O menor de 14t ou 200 mm	O menor de 14t ou 200 mm	O menor de $14t_{\min}$ ou 175 mm

Fonte: Adaptado (EUROCODE 3, 2021, p. 45)

Figura 49: Símbolos para distância a borda e espaçamento de fixadores



Fonte: (EUROCODE 3, 2021, p. 46)

Para a AISI/AISC 360-16 os furos padrão, superdimensionados e ranhurados as distâncias entre os centros, não podem ser menores que $2^{2/3}$ vezes o diâmetro nominal, d , do parafuso. E para a distância livre entre as bordas não devem ser menores que d . Além disso, assim como as outras normas apresentadas até aqui, a norma exibe uma nota reforçando que o tamanho ideal para esse distanciamento é de $3 d$ (ANSI/AISC, 2016, p. 130).

3.2.6 Espaçamento máximo entre parafusos

Conforme a ABNT NBR 8800:2008 e AISI/AISC, o espaçamento máximo entre parafusos que conectam um elemento ao outro, segue dois tipos de condições, são elas: elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada e também devem ser menor ou igual a 300 mm; e em elementos sujeitos a corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não deve exceder 14 vezes a espessura da parte ligada e também devem ser menor ou igual a 180 mm (NBR 8800:2008).

A norma AISI S100-16W não descreve nada relacionado a este tópico. E, para a Eurocode 3, considera-se a tabela 12 apresentada na seção 3.2.5.

3.2.7 Distância mínima de um furo às bordas

Na norma ABNT NBR 8800:2008 são tratadas a distância para cada disposição de furo, ou seja, furos-padrão, alargados ou alongados. A diferença é que para os dois últimos tipos é acrescentado um coeficiente que multiplica o valor estabelecido na Tabela 13, o qual não deve ser excedido em todos os casos (NBR 8800:2008).

Tabela 13: Distância mínima do centro de um furo padrão à borda

Diâmetro d_b		Borda cortada com serra ou tesoura mm	Borda laminada ou cortada a maçarico mm
Polegadas	Milímetros		
1/2	-	22	19
5/8	16	29	22
3/4	-	32	26
-	20	35	27
7/8	22	38	29
-	24	42	31
1	-	44	32
1.1/8	27	50	38
-	30	53	39
1.1/4	-	57	42
-	36	64	46
> 1.1/4	>36	$1,75 d_b$	$1,25 d_b$

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008, 2008)

A norma ainda ressalta que para as bordas laminadas ou cortadas a maçarico as distâncias podem ser reduzidas de 3 mm, quando o furo está em um ponto onde a força solicitante de cálculo não exceda 25% da força resistente de cálculo.

Diferente da NBR 8800:2008 que fornece uma tabela para o espaçamento mínimo de furos às bordas, a AISI S100-16W aborda este tópico, considerando que esse espaçamento deve ser menor que $1,5 d$ para furos – padrão. Enquanto que para furos superdimensionados devem ser menores que d (AISI Standard North American Specification, 2016, p. 107).

Para a Eurocode 3, conforme mencionado anteriormente na seção 3.2.5 a Tabela 12 fornece todas as informações necessárias que devem ser consideradas para estes casos.

A norma AISI/AISC 360-16 fornece por meio da Tabela 14 e Tabela 15 os valores em polegadas e milímetros respectivamente, que devem ser respeitados para o distanciamento do centro de um furo padrão à borda. Além disso, a norma destaca que a distância para furos superdimensionados não deve ser menor do que é considerado para o furo padrão, e acrescenta-se um incremento (C_2), apresentado na Tabela 16 e Tabela 17 (ANSI/AISC, 2016, p. 131).

Tabela 14: Distância mínima do centro do furo à borda da peça em polegadas

Distância mínima entre o centro do furo à borda da peça	
Diâmetro do Parafuso	Distância mínima da borda
1/2	3/4
5/8	7/8
3/4	1
7/8	1.1/8
1	1.1/4
1.1/8	1.1/2
1.1/4	1.5/8
Over 1.1/4	1.1/4 d

Fonte: Adaptado (ANSI/AISC, 2016, p. 132)

Tabela 15: Distância mínima do centro do furo à borda em milímetros

Distância mínima entre o centro do furo à borda da peça	
Diâmetro do Parafuso	Distância mínima da borda
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Over 36	1.25 d

Fonte: Adaptado (ANSI/AISC, 2016, p. 132)

Tabela 16: Valores do incremento de distância da borda em polegadas

Valores de distância da borda de incremento, C_2 , in				
Diâmetro Nominal do Parafuso	Furos Superdimensionados	Furos com fenda		
		Eixo longo perpendicular a borda		Eixo longo paralelo a borda
		Fenda curta	Fenda longa	
$\leq 7/8$	1/16	1/8	3/4 d	0
1	1/8	1/8	3/4 d	0
$\geq 1. 1/8$	1/8	3/16	3/4 d	0

Fonte: Adaptado (ANSI/AISC, 2016, p. 133)

Tabela 17: Valores do incremento de distância da borda em milímetros

Valores de distância da borda de incremento, C_2 , mm				
Diâmetro Nominal do Parafuso	Furos Superdimensionados	Furos com fenda		
		Eixo longo perpendicular à borda		Eixo longo paralelo a borda
		Fenda curta	Fenda longa	
≤ 22	2	3	0,75 d	0
24	3	3	0,75 d	0
≥ 27	3	5	0,75 d	0

Fonte: (ANSI/AISC, 2016, p. 133)

3.2.8 Distância máxima de um parafuso às bordas

Na norma NBR 8800:2008 e AISI/AISC 360-16 a distância máxima do centro do parafuso para qualquer borda de uma parte conectada, não deve exceder 12 vezes a espessura da parte ligada, e também deve ser menor ou igual a 150 mm (6 polegadas).

A norma AISI S100 – 16W não descreve nada relacionado a este tópico.

E, para a Eurocode 3 a tabela 12 fornece as informações necessárias, conforme exposto na seção 3.2.5.

3.3 OS PRINCÍPIOS DE CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES SOLDADAS

Os princípios de cálculo das ligações soldadas são similares aos que são aplicados para ligações parafusadas, ou seja, inicia-se pelo cálculo das áreas efetivas, força resistente de cálculo e para esse tipo de conexão as normas consideram algumas limitações existentes, as quais serão descritas a seguir.

3.3.1 Áreas efetivas

Para ABNT NBR 8800:2008 as particularidades a serem consideradas no dimensionamento das áreas efetivas variam conforme o tipo de penetração que podem ser totais ou parciais. A diferença principal entre os dois casos, está relacionado a espessura da garganta efetiva, sendo que para o primeiro tipo é estabelecido à menor das espessuras das partes soldadas, e para o segundo a espessura é dada conforme Quadro 6 (NBR 8800:2008, 2008). De forma geral, considera-se para o dimensionamento o produto do comprimento efetivo (l_w) da solda (correspondente a largura da parte ligada) pela espessura da garganta efetiva (t_1). A norma não explicita a equação, porém para efeitos didáticos será apresentada a equação 3.3-1 referente a área efetiva do metal da solda (A_{ew}) e a do metal-base nos elementos conectados (A_{MB}) (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Além disso, a norma fornece informações para os casos de juntas de superfície curva, conforme mostrado na Tabela 18.

Nesse contexto, a norma dedica um tópico referente as condições aplicáveis para as soldas de filetes, são elas: a área efetiva é calculada da mesma maneira que a solda de penetração total e parcial; a garganta efetiva para esse tipo de solda é igual à menor distância medida da raiz à face plana teórica da solda, exceto para filetes com pernas ortogonais; o comprimento efetivo é o comprimento total da solda de dimensão uniforme, incluindo os retornos nas extremidades, exceto para soldas de filete longitudinais, na qual é acrescentado um fator de redução (β) conforme apresentado na equação 3.3-2. Outra exceção, é para a solda de filete em furos ou rasgos, na qual deve ser medido ao longo da linha que passa pelos pontos médios das gargantas efetivas uniformes (NBR 8800:2008, 2008).

$$A_{ew} = A_{MB} = l_w t_1 \quad (3.3-1)$$

$$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{l_w}{d_w} \right), \text{ porém } 0,6 \leq \beta \leq 1,0 \quad (3.3-2)$$

Onde:

l_w = é o comprimento total da solda

d_w = tamanho da perna do filete de solda

Quadro 6: Espessura da garganta efetiva de soldas de penetração parcial

Processo de Soldagem	Processo de Soldagem	Tipo de chanfro	Espessura da garganta efetiva
Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	Todas	J U	Profundidade do chanfro
Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW) Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)	Todas	V com ângulo de 60°	
Arco submerso (SAW)	P	J U V ou bisel com ângulo de 60°	
Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW) Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)	P, H	Bisel com ângulo de 45°	
Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	Todas	Bisel com ângulo de 45°	Profundidade do chanfro menos 3 mm
Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW) Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)	V, S	Bisel com ângulo de 45°	
P - Plana; H- Horizontal; V - Vertical; S - Sobrecaabeça. Ângulo do chanfro é o ângulo entre as faces de fusão			

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008, 2008)

Tabela 18: Espessura da garganta efetiva para juntas soldadas de superfície curva

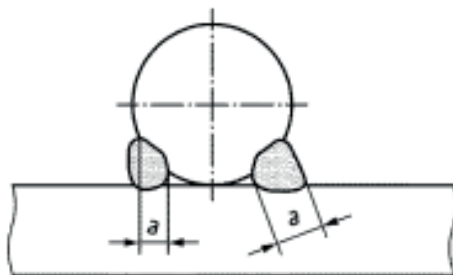
Processo de Soldagem	Espessura da garganta efetiva	
	Solda em bisel	Solda em V
Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW) e arco elétrico com fluxo no núcleo, no qual uma proteção adicional é fornecida por um gás ou mistura de gases externos (FCAW-G)	5R/8	3R/4
Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW) e arco elétrico com fluxo no núcleo, no qual a proteção é fornecida exclusivamente pelo gás advindo do interior do eletrodo tubular (FCAW-S)	5R/16	3R/8
Arco submerso (SAW)	5R/16	R/2
R é o raio da superfície da junta (Para seção tubular pode-se assumir 2t); Para solda em bisel com R menor que 10 mm adiciona-se um filete de reforço, e considera-se sua garganta para efeito de cálculo.		

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008, 2008)

A Eurocode 3 reconhece que os dimensionamentos das áreas efetivas, variam conforme a espessura efetiva da garganta. A norma faz considerações para os seguintes tipos de soldas: chanfro, filete, topo e ângulo (T).

Para o primeiro caso, quando a solda é realizada em barras solidas, onde a solda é encaixada rente à superfície da seção sólida das barras, a espessura efetiva da garganta deve ser no mínimo igual ao mostrado na Figura 50. A letra “a” designa a menor seção transversal de solda (EUROCODE 3, 2021).

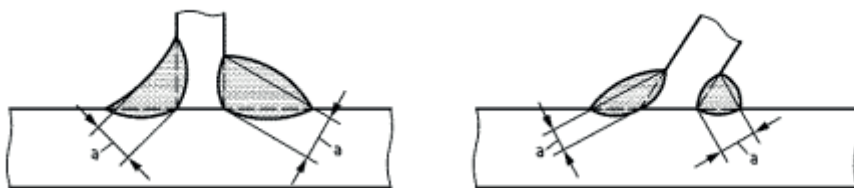
Figura 50: Espessura da garganta de soldas de chanfro em seções sólidas



Fonte: (EUROCODE 3, p. 64)

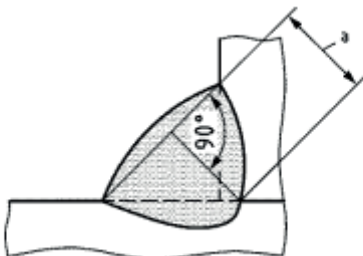
As soldas de topo com penetração parcial, devem possuir espessura menor que a espessura total do material que está sendo soldado. Já para as soldas de ângulo e filete, a espessura da garganta de projeto é a altura do maior triângulo, com pernas iguais ou desiguais que podem ser localizadas nas faces de fusão e na superfície de solda, medidas perpendicularmente ao lado externo deste triângulo, conforme apresentado na Figura 51. Além disso, a norma informa que a espessura da garganta para a solda de ângulo, não pode ser inferior a 3 mm, e para os casos em que seja necessário considerar uma espessura adicional, no qual a penetração seja consistentemente alcançada, verificar a Figura 52 (EUROCODE 3, 2021).

Figura 51: Espessura garganta efetiva solda de filete



Fonte: (EUROCODE 3, 2021)

Figura 52: Espessura da garganta com penetração



Fonte: (EUROCODE 3, 2021)

A norma apresenta a equação 3.3-3 para o dimensionamento da área efetiva da garganta (A_w), sendo o somatório do produto da menor seção transversal de solda (a) pelo comprimento efetivo da solda de filete ($l_{eff,w}$). Este comprimento deve ser considerado o comprimento sobre o qual o filete é em tamanho real, isto é, o comprimento total da solda reduzido em duas vezes a espessura da garganta “a”. E ainda ressalta que para comprimentos menor que 30 mm ou 6 vezes a espessura da garganta, a solda não deve ser projetada, pois não suportaria qualquer força aplicada.

$$A_w = \sum a l_{eff,w} \tag{3.3-3}$$

Para o dimensionamento da área efetiva da solda a AISI/AISI 360-16 utiliza a Tabela 19, conforme o processo de soldagem escolhido, o qual é similar ao aplicado na NBR 8800:2008. A norma não expõe uma fórmula para o cálculo do dimensionamento, porém menciona, em forma de texto, que para as soldas em chanfro a área efetiva deve ser o produto do comprimento dessa solda com a garganta eficaz, e essa espessura da garganta deve ser a espessura mais fina da parte conectada. Para os casos em que há necessidade de uma solda de chanfro alargado, considera-se a Tabela 20.

Tabela 19: Garganta eficaz de soldas de penetração parcial

Garganta Efetiva de Soldas de Chanfro de Penetração Parcial da Junta			
Processo de Soldagem	Posição Soldagem F(Plano), H(Horizontal), V(Vertical), OH (Sobrecabeça)	Tipo de Chanfro	Garganta Efetiva
SMAW	Todas	J ou U 60° V	Profundidade do chanfro
GMAW	Todas	J ou U 60° V	Profundidade do chanfro
FCAM	Todas	J ou U 60° V	Profundidade do chanfro
SAW	F	J ou U 60° bisel ou V	Profundidade do chanfro
GMAW	F, H	45° bisel	Profundidade do chanfro
FCAM	F, H	45° bisel	Profundidade do chanfro
SMAW	Todas	45° bisel	Profundidade do chanfro mínima 1/8" ou 3 mm
GMAW	V, OH	45° bisel	Profundidade do chanfro mínima 1/8 ou 3 mm
FCAM	V, OH	45° bisel	Profundidade do chanfro mínima 1/8 ou 3 mm

Fonte: Adaptado (ANSI/AISC, 2016)

Tabela 20: Espessura da garganta efetiva para juntas soldadas de superfície alargada

Garganta Efetiva de Soldas de Chanfro		
Processo de Soldagem	Ranhura Bisel Alargada	Ranhura V - Alargada
GMAW e FCAW-G	5/8 R	3/4 R
SMAW e FCAW-S	5/16 R	5/8 R
SAW	5/16 R	1/2 R

Fonte: Adaptado (ANSI/AISC, 2016)

A norma enfatiza alguns pontos que devem ser considerados no momento do dimensionamento, como: a garganta efetiva de uma solda de ângulo é a distância mais curta da raiz na face da solda, para soldas em furos e rasgos, o comprimento efetivo deve ser o comprimento da linha central da solda ao longo do centro do plano, e para filetes sobrepostos a área não pode ser maior que a seção transversal nominal da área do furo, no plano da superfície de contato (ANSI/AISC, 2016).

A AWS D1.1:2010 caracteriza a área efetiva segundo o tipo de solda designado em projeto. Isto é, para as soldas em chanfro é considerado o comprimento efetivo multiplicado pelo tamanho efetivo de solda. Nas soldas de filete o cálculo é realizado por meio do produto entre o comprimento efetivo da solda pela garganta efetiva. As juntas em T são similares as de filete, porém a garganta efetiva é especificada. E por último a solda de tampão é dimensionado aplicando a área nominal do furo no plano da superfície de contato (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010).

Ainda nesse contexto, a norma faz a mesma divisão para definir o comprimento efetivo da solda. A princípio, nas soldas em chanfro, o comprimento efetivo máximo de solda é a largura da parte conectada, perpendicular à direção da resistência compressiva ou de tração, exceto quando o intuito for transmissão de cisalhamento, no qual o comprimento é especificado (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010).

Para as soldas de filete são considerados diversos tipos de comprimento efetivo, como: reto, curvo, mínimo e máximo. Neste estudo vamos abordar a especificação somente dos dois últimos. Sendo assim, a norma sugere que o comprimento mínimo deve ser 4 vezes o tamanho nominal ou o tamanho efetivo da solda, e não deve exceder 25% de seu comprimento efetivo. Quanto ao comprimento máximo, as soldas localizadas nas extremidades com até 100 vezes a dimensão da perna, é permitido tomar como comprimento efetivo o comprimento real. Porém, nos casos em que este comprimento excede as 100 e seja menor que 300 vezes o tamanho da solda, o comprimento efetivo é calculado ao multiplicar o tamanho real por um coeficiente de redução, conforme demonstrado na equação 3.3-4 (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010).

$$\beta = 1,2 - 0,2 \left(\frac{L}{100 w} \right) \leq 1 \quad (3.3-4)$$

Onde:

β = coeficiente de redução

L = comprimento real da solda carregada na extremidade

W = tamanho da perna da solda

O comprimento efetivo para as juntas em T, pode ser considerado o comprimento total da solda, e nenhuma redução deve ser aplicada para esse dimensionamento. E por fim, nas soldas de tampão o comprimento considerado não deve exceder 10 vezes a espessura da parte em que é realizado o furo, e as ranhuras devem ser semicirculares ou obter os cantos arredondados com um raio menor que a espessura da parte em que é feita. A Tabela 21 apresenta os tamanhos a serem considerados segundo o processo de solda solicitado (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010).

Tabela 21: Tamanho efetivo da solda em chanfro curvado

Tamanho Efetivo da Solda em Chanfro Curvado com Preenchimento por Jateamento		
Processo de Soldagem	Chanfro Bisel Curvado	Chanfro em V Curvado
GMAW e FCAW-G	5/8 R	3/4 R
SMAW e FCAW-S	5/16 R	5/8 R
SAW	5/16 R	1/2 R

Fonte: Adaptado (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010, p. 24)

3.3.2 Força resistente de cálculo

A NBR 8800:2008 adota a Tabela 22 para os diversos tipos de solda, considerando A_w a área efetiva da solda, A_{MB} a área do metal-base, f_y a menor resistência ao escoamento entre os metais-base e f_w a resistência mínima à tração do metal da solda, fornecida na Tabela 23 (NBR 8800:2008, 2008, p. 71).

Quanto a solda do tipo filete, a norma propõe outras alternativas para o cálculo de dimensionamento, de acordo com três tipos de grupos, sendo: os dois primeiros se referem a filetes que estão situados no mesmo plano e sujeitos a ações nesse plano, sendo que no primeiro, a resultante dessas ações passa pelo centro geométrico do grupo, conforme apresentada na equação 3.3-5, e o segundo não passa pelo centro geométrico, a qual pode ser dimensionada por meio da equação 3.3-6 e 3.3-7. O terceiro é direcionado para os filetes carregados concetricamente, o qual os elementos são situados longitudinalmente e transversalmente à direção da força aplicada, a equação 3.3-8 expõem as variáveis para realização do cálculo (NBR 8800:2008, 2008).

Tabela 22: Força resistente de cálculo de soldas

Tipos de solda	Tipos de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo $F_{w,Rd}$
Penetração Total	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não é aplicado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	Metal base: $A_{MB} f_y / \gamma_{a1}$
	Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva	Metal base: $0,6 A_{MB} f_y / \gamma_{a1}$
Penetração Parcial	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não é aplicado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	O menor dos dois valores: a) Metal base: $A_{MB} f_y / \gamma_{a1}$ b) Metal da solda: $0,6 A_{MB} f_y / \gamma_{a1}$
	Cisalhamento paralelo ao eixo da solda, na seção efetiva	Metal base: classe 6.5 Metal da solda: $0,6 A_w f_w / \gamma_{w2}$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não é aplicado
	Cisalhamento na seção Efetiva	Metal base: classe 6.5 Metal da solda: $0,6 A_w f_w / \gamma_{w2}$
Tampão em furos/rasgos	Cisalhamento paralelo as superfícies em contato, na seção efetiva	Metal base: classe 6.5 Metal da solda: $0,6 A_w f_w / \gamma_{w2}$

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008, 2008)

Tabela 23: Resistência mínima à tração do metal solda

Metal da Solda	f_w Mpa
Eletrodos com classe de resistência 6 ou 60	415
Eletrodos com classe de resistência 7 ou 70	485
Eletrodos com classe de resistência 8 ou 80	550

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008, 2008)

$$F_{w,Rd} = \frac{0,6 f_w}{\gamma_{w2}} A_w (1 + 0,5 \sin^{1,5} \theta) \quad (3.3-5)$$

Onde:

θ = é o ângulo entre a resultante das ações e o eixo longitudinal do grupo de filetes de solda.

$$F_{wx,Rd} = \sum F_{wix,Rd} \qquad F_{wy,Rd} = \sum F_{wiy,Rd}$$

$$F_{wi,Rd} = \frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}} \sum_i A_{wi} (1 + 0,5 \sin^{1,6} \theta_i) f_{(p)} \quad (3.3-6)$$

$$f_p = [p(1,9 - 0,9 p)]^{0,3} \quad (3.3-7)$$

Onde:

$F_{wi,Rd}$ = força resistente de cálculo do filete de número i;

$F_{wx,Rd}$ = força resistente de cálculo na direção x;

$F_{wy,Rd}$ = força resistente de cálculo na direção y;

$p = \Delta_i / \Delta_m$, isto é, relação entre a deformação do filete i sob níveis intermediários de tensão, linearmente proporcional à deformação crítica baseada ao centro instantâneo de rotação, e sua deformação no limite de resistência;

$$F_{w1,Rd} = F_{wl,Rd} + F_{wt,Rd} \quad (3.3-8)$$

$$F_{w2,Rd} = 0,85F_{wl,Rd} + 1,5F_{wt,Rd}$$

Onde:

$F_{w1,Rd}$ = força resistente de cálculo total dos filetes de solda situados longitudinalmente à direção da força aplicada;

$F_{w2,Rd}$ = força resistente de cálculo total dos filetes de solda situados transversalmente à direção da força aplicada;

Para o dimensionamento da força de resistência de cálculo, a Eurocode 3 escreve as informações necessárias a serem consideradas, segundo o tipo de junta, as principais são: filete, ângulo, topo e juntas longa. Para o primeiro caso, a resultante de todas as forças por unidade de comprimento ($F_{w,Ed}$) deverá ser menor ou igual a resistência de solda por unidade de comprimento ($F_{w,Rd}$), conforme apresentado na equação 3.3-9, e para o cálculo dessa resistência independentemente da orientação do plano da garganta, aplica-se a equação 3.3-10. A norma também aborda sobre os casos de cisalhamento, o qual deve ser aplicado a equação 3.3-11. E, para casos com diferentes resistências do metal original e de adição, aplica-se a equação 3.3-12 (EUROCODE 3, 2021).

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (3.3-9)$$

$$F_{w,Ed} = F_{vw,d} * a \quad (3.3-10)$$

Onde:

$F_{vw,d}$ = resistência ao cisalhamento de uma solda

a = espessura da garganta efetiva

$$F_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} \quad (3.3-11)$$

Onde:

f_u = limite de resistência à tração nominal, com menor grau de resistência

β_w = fator de correlação

γ_{M2} = fator parcial de resistência soldas

$$F_{vw,d} = \frac{0,25 f_{u,PM} + 0,75 f_{u,FM}}{\sqrt{3} \beta_{w,mod} \gamma_{M2}} \quad (3.3-12)$$

Onde:

$f_{u,PM}$ = resistência nominal à tração final do metal original, que é de menor grau de resistência.

$f_{u,FM}$ = limite de resistência à tração nominal do metal adicionado

$\beta_{w,mod}$ = fator de correlação modificado relacionado a resistência do metal de adição inserido.

Para junta de ângulo a norma, também considera aplicável a equação 3.3 -11. E, para as soldas de topo, a Eurocode 3 divide em três tópicos, conforme penetração, são eles: total, parcial e articulações em T (EUROCODE 3, 2021).

Dessa forma, para as soldas de penetração total e com articulações em T a resistência deve ser igual à considerada em projeto, isto é, a resistência mais fraca das partes conectadas de modo que a solda seja realizada com consumíveis capazes de produzir amostras de tração com um limite de escoamento mínimo, e uma resistência de tração não inferior especificada para o metal original. Enquanto para a solda de penetração parcial o cálculo para o dimensionamento, se repete de forma similar as juntas de ângulo (EUROCODE 3, 2021).

Para a AISI/AISC 360-16 a força de resistência de projeto (ϕR_n) e a resistência admissível (R_n / Ω) devem ser o valor mais baixo da resistência do material de base, o qual é determinado pelo limite de estado de ruptura por tração e cisalhamento. A equação 3.3-13 apresenta a fórmula aplicada para o metal base e a equação 3.3-14 para metal solda (ANSI/AISC, 2016, p. 122).

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \quad (3.3-13)$$

$$R_n = F_{nw} A_{we} \quad (3.3-14)$$

Onde:

A_{BM} = área da seção transversal do metal base

A_{we} = área efetiva da solda

F_{nw} = tensão nominal do metal base (dados em tabela)

F_{nBM} = tensão nominal do metal de solda (dados em tabela)

Para soldas de ângulo a resistência disponível é determinada por meio da resistência direcional mostrada na equação 3.3-15, considerando a compatibilidade de deformação da solda.

$$1 + 0,5 \sin^{1,5} \theta \quad (3.3-15)$$

θ = ângulo entre a linha de ação da força necessária e o eixo longitudinal da solda em graus.

Para os casos em que há um grupo de solda linear com um tamanho de perna uniforme, carregado por meio do centro de gravidade, aplica-se a equação 2. E para grupos de soldas de ângulos carregados concêntricamente, os quais as pernas são orientadas longitudinalmente e transversalmente à direção da carga aplicada, a força combinada deve ser calculada segundo a equação 3.3-16 ou 3.3-17 respectivamente (ANSI/AISC, 2016).

$$R_n = R_{nwl} + R_{nwt} \quad (3.3-16)$$

$$R_n = 0,85 R_{nwl} + 1,5 R_{nwt} \quad (3.3-17)$$

Onde:

R_{nwl} = resistência nominal total de soldas de filete carregadas longitudinalmente

R_{nwt} = resistência nominal total de soldas de filete carregadas transversalmente

De forma geral a AWS D1.2010 fornece a informação de que as tensões calculadas quando comparadas com as tensões permissíveis devem ser consideradas tensões nominais, determinadas a partir dos requisitos mínimos de resistência da junta, os quais são geralmente especificados em projeto. Além disso, a norma considera para as soldas de filete que a tensão deve ser considerada cisalhamento aplicado à área efetiva em qualquer direção da carga aplicada. Para os casos, em que essa solda seja linear, única ou paralela, carregadas no mesmo ângulo e plano por meio do centro de gravidade, a tensão permissível é determinada conforme apresentado na equação 3.3-18 (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010).

$$F_v = 0,3F_{Fxx}(1 + 0,5\text{sen}^{1,5}\theta) \quad (3.3-18)$$

Onde:

F_v = unidade de tensão permissível

F_{Fxx} = número de classificação da resistência do eletrodo

θ = ângulo entre a direção da força e o eixo do elemento de solda em graus

Para as soldas de filete com centro de rotação instantâneo a norma considera a equação 3.3-19 para o dimensionamento.

$$F_{vx} = \sum F_{vix} \quad F_v = \sum F_{vi}$$

$$F_{vi} = 0,30F_{EXX}(1 + 0,5\text{sen}^{1,6}\theta_i)F_{(p)} \quad (3.3-19)$$

Onde:

F_{vx} = força interna total na direção x;

F_{vix} = componente x de tensão;

p = Δ_i/Δ_m , isto é, taxa de deformação do filete “i”, a deformação no elemento em tensão máxima;

$$\Delta_m = 0,209 (+6)^{-0,32} W$$

Δ_i = deformação de elementos de solda em níveis de tensão intermediário.

W = tamanho da perna na solda de filete

3.3.3 Limitações

A NBR 8800:2008, expõem um capítulo focado nas limitações para as soldas dos tipos: penetração (total e parcial), filete e tampão em furos ou rasgos. As informações fornecidas pela norma são consideradas no momento da aplicação específica para essas soldas.

Para o primeiro cenário, as espessuras mínimas de gargantas efetivas de soldas de penetração parcial são apresentadas na Tabela 24. Esse tipo de solda não pode ser realizado em peças fletidas. Além disso, a dimensão da solda é relacionada a parte mais espessa soldada (NBR 8800:2008, 2008).

Já o segundo, os critérios são mais extensos comparados com os outros dois tipos de solda. Inicialmente deve-se considerar o tamanho mínimo da perna de uma solda de filete, conforme apresentado na Tabela 25. Enquanto para o tamanho máximo da perna de uma solda de filete, observa-se a espessura de suas bordas, ou seja, para valores inferiores a 6,35 mm o tamanho não pode ultrapassar a espessura do material, e para valores iguais ou superiores a 6,35 mm, segue a regra anterior, porém subtrai-se 1,5 mm, exceto se nos projetos essa solda for indicada como reforçada, com o intuito de obter a espessura total desejada da garganta (NBR 8800:2008, 2008).

Ainda nesse contexto, o comprimento efetivo, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e/ou a 40 mm, assim como esse tamanho também não pode exceder a 25% do comprimento efetivo da solda. E quando essas soldas forem no sentido longitudinal, nas ligações extremas de chapas planas tracionadas, esse comprimento não pode ser menor que a distância transversal entre eles. Para o segmento de solda intermitente de filete, o comprimento não pode ser menor que 4 vezes o tamanho da perna, e nem inferior que 40 mm (NBR 8800:2008, 2008).

Outro fator é o acabamento mínimo em ligações por superposição, o qual deve ser igual a 5 vezes a espessura da parte ligada menos espessa e não inferior a 25 mm. Para os casos em que a deformação não é suficientemente contida, a sobreposição com filetes transversais em barras e chapas, devem ser soldadas ao longo das extremidades de ambas as partes (NBR 8800:2008, 2008).

Além disso, há alguns fatores determinantes que sugerem as terminações das soldas de filetes, como: aplica-se em juntas por superposição, sujeitas a tensões de tração longitudinais a interrupção dos filetes a uma distância da borda não inferior ao tamanho da perna do filete; para ligações de elementos estruturais com forças cíclicas normais a elementos em projeção, de frequência e magnitude que tendem a causar fadiga, os filetes devem contornar os cantos estendendo-se por uma distância não inferior duas vezes a dimensão da perna ou à largura da parte ligada, considerando a menor; para projetos que solicitam flexibilidade, sugere-se a terminação com retornos nas extremidades dos filetes, no qual o comprimento não deve exceder 4 vezes a dimensão da perna; e em soldas de filetes em lados opostos de um plano utiliza-se a interrupção no canto comum a ambas as soldas (NBR 8800:2008, 2008).

Por fim, aplica-se a solda de filete em furos ou rasgos com o intuito de transmitir forças às superfícies de contato em ligações por superposição, ou para evitar flambagem das partes, e para ligar componentes de barras de seção composta. Essas soldas não devem ser tratadas como soldas de tampão (NBR 8800:2008, 2008).

A terceira limitação, mencionada na norma, é referente às soldas de tampão em furos ou rasgos, na qual deve-se considerar o diâmetro dos furos inferior à espessura da parte que os contém acrescida de 8 mm, nem maior que 2,25 vezes a espessura da solda. A distância de centro a centro de soldas de tampão em furos deve ser igual ou maior que 4 vezes o diâmetro do furo. Já para os rasgos, o comprimento não deve ser maior que 10 vezes a espessura da solda, a largura não pode ser inferior à espessura da parte que os contém acrescida de 8 mm, nem maior que 2,25 vezes a espessura da solda. As extremidades desses rasgos devem ser semicirculares, ou ter cantos arredondados de raio inferior à espessura da parte que os contém, exceto aquelas extremidades que se estendem até a borda do elemento soldado. O espaçamento entre linhas de centro, de rasgos, medindo na direção transversal, deve ser igual ou maior que 4 vezes a largura do rasgo, enquanto a distância de centro a centro situados na mesma linha longitudinal ao comprimento deles, deve ser maior ou igual a 2 vezes o comprimento dos rasgos. Por último, se a espessura do material for menor ou igual a 16 mm, a espessura da solda de tampão se equivale. Quando a espessura excede 16 mm, a espessura dessa solda deve ser no mínimo metade da espessura do material, e não inferior (NBR 8800:2008, 2008).

Tabela 24: Espessura mínima garganta efetiva

Menor espessura do metal-base na junta mm	Espessura mínima da garganta efetiva a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19 até 37,5	8
Acima de 37,5 até 57	10
Acima de 57 até 152	13
Acima de 152	16

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008, 2008)

Tabela 25: Tamanho mínimo da perna do filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 6,35 até 12,5	6
Acima de 19	8
Obs.: Tamanho mínimo da perna da solda de filete são executadas somente com um passe	

Fonte: Adaptado (NBR 8800:2008, 2008)

Assim como a NBR 8800:2008, a Eurocode 3 sugere algumas limitações referentes as terminações das soldas de filete, como, por exemplo: retornos, intermitente e em toda volta da solda. O primeiro é aplicado nas soldas que terminam nas extremidades ou nas laterais das peças, as quais devem ter o retorno continuamente, em tamanho real, em torno do canto por uma distância de pelo menos duas vezes o comprimento da perna da solda, exceto se a configuração ou o acesso à junta torna-se impraticável. O segundo, não pode ser aplicado em materiais que podem sofrer condições corrosivas. Há limites para as folgas entre as extremidades de cada comprimento de solda, a qual deve ser tomada como a menor das distâncias entre as extremidades das soldas em lados opostos e de mesmo lado, sempre haverá um comprimento de solda em cada extremidade da parte conectada. E o terceiro, só deve ser aplicado em furos redondos ou alongados normais, com o intuito de transmitir cisalhamento ou evitar flambagem e a separação de peça, às extremidades dos orifícios alongados devem ser semicirculares, o que não vale para as extremidades que se estendem até a borda da parte interessada, e o espaçamento centro a centro das soldas de ângulo não deve exceder o valor necessário para evitar flambagem (EUROCODE 3, 2021).

As limitações inseridas pela AISI/AISC 360-16 são referentes aos critérios que devem ser considerados no cálculo de dimensionamento da área efetiva da solda. Inicialmente a norma estabelece que a garganta efetiva mínima de uma solda de chanfro de penetração parcial não pode ser menor que o tamanho necessário para transmitir as forças calculadas e nem ao tamanho mostrado na Tabela 26. Já para o tamanho máximo de soldas, pode-se considerar as seguintes alternativas: quando a solda for realizada ao longo das bordas do material, o tamanho não deve ser menor que 6 mm de espessura, e nem maior que a espessura desse material, ou em casos ao longo da aresta do material o tamanho deve ser maior, ou igual a 6 mm, mas não maior que a espessura do material, a menos que a solda seja solicitada no projeto (ANSI/AISC, 2016).

Quanto ao comprimento mínimo a ser considerado, a norma descreve que para soldas de ângulo, o tamanho não deve ser menor que 4 vezes o tamanho nominal da solda, ou não deve exceder $\frac{1}{4}$ do seu comprimento. E quando o comprimento da solda de filete carregada na extremidade for maior que 100 vezes ao tamanho da solda, o comprimento recebe um fator de redução, conforme mostrado na equação 3.3-20. Outro fator é se o comprimento da solda exceder 300 vezes o comprimento da perna, é necessário multiplicar este tamanho por 180. Ainda nesse contexto, o comprimento de qualquer segmento de solda de filete intermitente não deve ser menor que 4 vezes o tamanho da solda, com um mínimo de 38 mm (ANSI/AISC, 2016).

$$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{l}{w} \right) \leq 1 \quad (3.3-20)$$

Onde:

l = comprimento real da solda

w = tamanho da perna da solda

Para juntas sobrepostas a quantidade mínima de sobreposição deve ser cinco vezes a espessura da parte mais fina conectada, e não deve ser menor que 25 mm. As juntas sobrepostas em barras e chapas submetidas a tensão axial, aplica-se apenas soldas de filetes transversais ao longo da extremidade de ambas, exceto para os casos em que a deformação é considerada, para evitar a abertura da junta. A Tabela 26 apresenta o tamanho mínimo para as soldas de filete (ANSI/AISC, 2016).

As terminações de solda de ângulo, não devem resultar em entalhe do metal base, quando sujeitos a aplicação de cargas de tensão. Os componentes não podem ser ligados por solda nos locais onde a deformação é necessária (ANSI/AISC, 2016).

As soldas em furos são utilizadas para transmitir cisalhamento, a fim de resistir cargas perpendiculares à superfície de contato em juntas sobrepostas, evitar flambagem e separação das peças. E para as soldas em rasgos, deve-se considerar as extremidades semicirculares ou com cantos arredondados a um raio maior, ou igual à espessura da peça, essa regra não vale para aquelas situadas na extremidade e que se estendem até a borda da peça (ANSI/AISC, 2016).

Tabela 26: Tamanho mínimo para soldas de filete

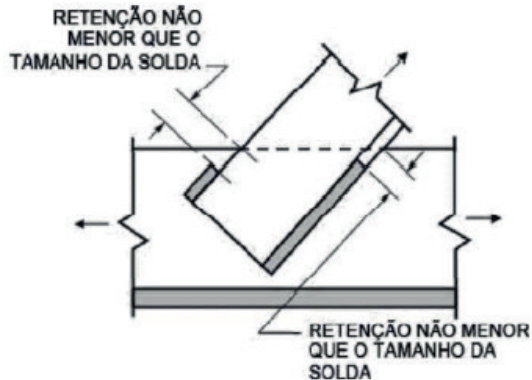
Tamanho mínimo solda de filete	
Espessura do material da peça mais fina unida, polegada (mm)	Tamanho mínimo de solda de filete, polegada (mm)
Para 1/4(6)	1/8(3)
1/4 (6) para 1/2(13)	3/16(5)
1/2 (13) para 3/4(19)	1/4(6)
3/4(19)	5/16(8)

Fonte: (ANSI/AISC, 2016)

As principais limitações da AWS D1.2010 mencionadas neste trabalho são referentes ao diâmetro mínimo considerado para o furo ou largura da ranhura das soldas de filetes, os quais não devem ser menores que a espessura do material em que é aplicada, e mais que 8 mm. Outro ponto observado é que as soldas de furos ou ranhuras em juntas sobrepostas são aplicadas com o intuito de transferir cisalhamento e evitar flambagem e separação de peças. Além disso, a norma considera as terminações de soldas de filete assim como as demais anteriormente citadas na pesquisa (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010, p. 11).

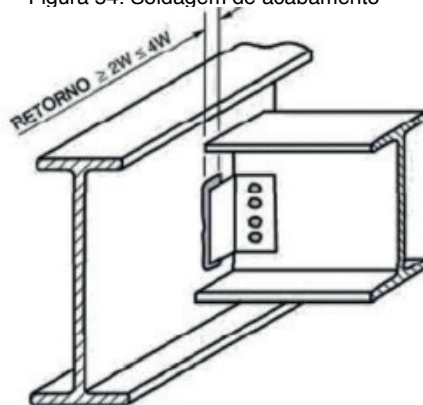
A princípio, a AWS D1.2010, refere-se a juntas de sobreposição, as quais devem terminar com não menos que o tamanho da solda do começo da extensão, segundo o mostrado na Figura 53. Para soldas de acabamento, as juntas devem permitir flexibilidade, a qual é solicitada em projeto, e para esses casos, quando as pernas do metal base são anexadas a essas soldas, o comprimento não pode exceder 4 vezes o tamanho nominal da solda, conforme a Figura 54.

Figura 53: Terminação de soldas de sobreposição



Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010)

Figura 54: Soldagem de acabamento



Nota: W = tamanho nominal da solda

Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010)

Para as soldas de reforço transversal com braçadeiras de trave, devem iniciar e terminar com mais de 4 e menos que 6 vezes a espessura da braçadeira, considerando a partir da extremidade da braçadeira. As soldas nos lados opostos de um plano em comum devem ser interrompidas no canto comum de ambas. E, por fim, as soldas descontínuas são aplicadas para transferir tensão nas partes conectadas (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010, p. 11).

4. ANÁLISE E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentam-se as análises e discussões referentes às normas estabelecidas previamente. Para os dados obtidos nesta pesquisa, levou-se em consideração, os itens conforme especificados metodologicamente: mapeamento de quais normas aplicáveis, e os princípios básicos de cálculo do dimensionamento de ligações parafusadas e soldadas de forma sistematizada.

Para a elaboração do material, procurou-se obter a maior quantidade de normas possíveis, porém não foram abordadas todas as normas existentes. Sendo assim, buscaram-se as normas que possuíam mais recursos de informações, por meio de outras monografias na mesma linha de pesquisa, sites e o próprio acesso ao documento completo, a fim de contribuir com este estudo.

Os princípios básicos de cálculo do dimensionamento geralmente apresentam similaridade entre as normas, são algumas pequenas variações que ocorrem em relação ao nome dos termos utilizados na equação, porém a linha de raciocínio é praticamente a mesma.

Observa-se uma variedade de normas técnicas, responsáveis pelo fornecimento de informações relevantes para o cálculo de dimensionamento das ligações parafusadas e soldadas em estrutura metálica. O projetista designado a fazer essa análise, tende a buscar um material para consulta que o auxilie no processo. A elaboração de um compêndio com os princípios básicos concedidos por algumas das principais normas aplicadas para esse dimensionamento, busca facilitar essa pesquisa, complementado com um quadro resumo, conforme apresentado no Quadro 7. Diferentemente dos trabalhos similares encontrados, este quadro fornece de forma unificada todas as normas mapeadas, e seus respectivos princípios, e capítulos e/ou seções, a fim de otimizar a busca de informações no momento das verificações de cálculo dessas ligações, além de poder realizar o cálculo aplicando diferentes normas e comparar seus resultados, caso seja necessário.

Quadro 7: Quadro resumo das normas aplicáveis no cálculo de dimensionamento de ligações

LIGAÇÕES PARAFUSADAS			
Assunto	Página Livro	Norma Aplicável	Capítulo/ Seção
Área de Cálculo	65	NBR 8800:2008	6/6.3.2
Tração	68	NBR 8800:2008	6/6.3.3.1
	69	Eurocode 03	5/5.7
	70	AISI/AISC 360-16	J3/J3.6
	68	AISI S100-16W	J4/J4.4
	70	ISO 898-1:2013	9/9.1.6.1.1
	71	NBR 8800:2008	6/6.3.3.2
Cisalhamento	72	Eurocode 03	5/5.7
	72	AISI/AISC 360-16	J3/J3.6
	71	AISI S100-16W	J4/J4.3.2

Pressão de contato em furos	72	NBR 8800:2008	6/6.3.3.3
	74	Eurocode 03	5/5.7
	75	AISI/AISC 360-16	J3/J3.10
	73	AISI S100-16W	J3/J3.3.2
Tração e Cisalhamento Combinados	76	NBR 8800:2008	6/6.3.3.4
	78	Eurocode 03	5/5.7
	78	AISI/AISC 360-16	J3/J3.9
	77	AISI S100-16W	J4/J4.5
Força Resistente de Parafusos de alta resistência em ligações por atrito	79	NBR 8800:2008	6/6.3.4
	81	Eurocode 03	5/5.9.2
	82	AISI/AISC 360-16	J3/J3.8
	80	AISI S100-16W	B3.2.3
Dimensionamento de Furos	83	NBR 8800:2008	6/6.3.6
	85	AISI/AISC 360-16	J3/J3.3
	85	AISI S100-16W	J3/J3.1 a J3.3
Espaçamento mínimo e máximo entre furos e bordas	86	NBR 8800:2008	6/6.3.9 a 6.3.12
	87	Eurocode 03	5/5.6
	86	AISI S100-16W	-
	88	AISI/AISC 360-16	J3/J3.4 a J3.5
Propriedades Mecânicas	-	ASTM A325/A490/A307	-
	-	ISO 898-1:2013	Capítulo: 7
	-	RCSC specification – 2014	Seção 5
LIGAÇÕES SOLDADAS			
Tópico	Página Livro	Norma Aplicável	Capítulo/ Seção
Área Efetiva	98	AWS.D1.1:2010	2/2.4
	97	AISI/AISC 360-16	J2/1a
	93	NBR 8800:2008	6/6.2.2
	95	Eurocode 03	6/6.5.3.2
Forças Resistentes (Geral)	100	NBR 8800:2008	6/6.2.5
	103	Eurocode 03	6/6.5 e 6.11
	104	AISI/AISC 360-16	J2/4
	105	AWS.D1.1:2010	2/2.6
Limitações	106	NBR 8800:2008	6/6.2.6
	109	Eurocode 03	6/6.3.2 a 6.3.6, 6.6 a 6.8
	110	AISI/AISC 360-16	J2/1b a 3b
	111	AWS.D1.1:2010	2/2.4.5 e 2.9
Propriedades Mecânicas	-	AWS A5.1	-
	-	Eurocode - EN 499	-
	-	ABNT - NBR 6152	-

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo elaborar um compêndio referente às principais normas aplicadas ao dimensionamento das ligações parafusadas e soldadas em uma estrutura metálica, visando um material unificado e consolidado com informações relevantes fornecidas por esses documentos, os quais a quantidade mapeada esteve relacionada ao prazo para apresentar a pesquisa e a facilidade em acessá-los. Por se tratar de um assunto bem abrangente e minucioso, procurou-se dentro das normas focar nos princípios básicos considerados no cálculo dessas ligações, a fim de nortear o projetista durante as verificações de uma atividade que envolva esses processos.

Além disso, essa pesquisa fornece uma variedade de normas aplicáveis nos tipos de ligações já mencionadas, ou seja, o projetista tem a opção de escolher conforme a exigência do projeto a aplicação da norma equivalente.

Nesse contexto, sugere-se para trabalhos futuros, uma pesquisa para complementar com outras normas que se aplicam nessas ligações, por exemplo, a DIN, SAE, entre outros. Além disso, pode-se apresentar um estudo para os rebites, que apesar de estarem sendo substituídos na maioria das estruturas, ainda há esse tipo de ligação, principalmente na indústria automobilística e aeroespacial. E por fim, pode-se realizar estudos de casos aplicando cada uma das normas e comparar seus respectivos resultados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WELDING SOCIETY, AWS. **Standard Symbols for Welding, Brazing and Nondestructive Examination**. 7. ed. Miami: American Welding Society, 2012.

AMERICAN WELDING SOCIETY, AWS D. 1. 1. **Código de Soldagem Estrutural - Aço**. American Welding Society. Miami, p. 556. 2010.

ANSI/AISC, 360-16. **Specification for Structural Steel Buildings**. ANSI/AISC. Miami, p. 117. 2016.

ARAÚJO, A. H. M. Biblioteca Digital. **ABCEM**, BELO HORIZONTE, 2020. Disponível em: <https://www.abcem.org.br>. Acesso em: 19 DEZEMBRO 2021.

ARGENTA, Marco A. Processos de Soldagem. **Estruturas UFRP**, 2015. Disponível em: <http://www.estruturas.ufrpr.br/>. Acesso em: 22 Agosto 2022.

BALABUCH, Pauline. **A Interface Essencial da Engenharia de Produção no Mundo Corporativo**. Ponta Grossa: Atena, 2017.

BELLEI, ILDONY H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2. ed. São Paulo: Pini Ltda, v. 1, 2008.

BOLANDIM, Emerson A. **Análise de confiabilidade em ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 51. 2011.

BRASIL, Gerdau. Catálogos e manuais gerdau perfis estruturais. **Gerdau Brasil**, 2019. Disponível em: https://www2.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais?gclid=Cj0KCQiAweaNBhDEARIsAJ5hwbF7ZZ3LqII_yV8zXitZLbZ4mloDvRCVYe6rzDcARR4FgOIQ-_9GOoaAqZaEALw_wcB. Acesso em: 15 Dezembro 2021.

BRASIL, Instituto A. Instituto Aço Brasil. **Instituto Aço Brasil**, 2021. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/historia-do-aco/>. Acesso em: 04 Novembro 2021.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas Shigley**. 10. ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2016.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos**. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, v. 1, 1996.

COSTA, Thonson *et al.* Avaliação de Processos MIG/MAG Curto-Circuito Convencional e Controlado para a Soldagem de Dutos de Aço Carbono em Passe Único. **SciELO Brasil**, Uberlândia, 13 Junho 2012. 17.

ESAB. Processo de Soldagem - Arames Tubulares - ESAB. **ESAB**, 2022. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_arames_tubulares.cfm. Acesso em: 16 janeiro 2022.

EUROCODE 3, Comitê. **Eurocode 3: Design de estruturas de aço. Parte 1-8: Projeto de juntas**. Eurocode. [S.l.]. 2021.

FÁBIO, TIBURI. **Dossiê Técnico Qualidade em Soldagem**. Senai-RS. Rio Grande do Sul, p. 19. 2007.

FAKURY, Ricardo H.; SILVA, Ana L. R. C. E.; CALDAS, Rodrigo B. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto**. São Paulo: Pearson Education Do Brasil, 2016.

FARID ALFAWAKHIRI, Susan B. B. A. H. S. A. **Structural Welding Code—Steel**. Miami: [S.n.], 2010.

FORTES, Cleber. Apostila de Eletrodos Revestidos. **Esab**, p. 5, Fevereiro 2005. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf. Acesso em: 29 Dezembro 2021.

GUARNIER, Christiane R. F. **Metodologias de Detalhamento de Estruturas Metálicas**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 201. 2009.

HOJE, Redação I. O Aço na Construção Civil Hoje. **Industria Hoje**, 2014. Disponível em: <https://industria hoje.com.br/o-aco-na-construcao-civil>. Acesso em: 29 novembro 2021.

ISO 898, Comitê T. **Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread (ISO 898-1:2013)**. BS EN ISO 898-1. Reino Unido, p. 66. 2013.

JACOB, Felipe. **O Calculista do Aço**, 2017. Disponível em: <https://calculistadeaco.com.br/6-defeitos-comuns-em-soldas-de-eletrodo-revestido-e-como-evita-las/>. Acesso em: 27 jan. 2024.

JULIO, SILVEIRA. Termino. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina**. Disponível em: <http://docente.ifsc.edu.br/>. Acesso em: 22 Agosto 2022.

KLETTENBERG, Leonardo G. II. Ligações Soldadas. **Estruturas UFPR**, 2015. Disponível em: <http://www.estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/05/Cap2-Liga%C3%A7%C3%B5esSoldadas-1.pdf>. Acesso em: 31 Agosto 2022.

LÊDO, Getro F. S. **Estudo do Dimensionamento de soldas de filetes produzidas pelo processo de soldagem por eletrodo revestido**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM). Manaus, p. 42. 2016.

LUCA, Rogério D. Descontinuidades na Soldagem. **InfoSolda**, Abril 2014. Disponível em: <https://infosolda.com.br/?s=Descontinuidades+na+Soldagem>. Acesso em: 2022 Setembro 14.

LUZ, Gelson. Procedimentode soldagem (EPS). **Blog de Soldagem. Gelsonluz.com**, 2018. Disponível em: <https://www.soldagem.gelsonluz.com/2018/09/procedimento-de-soldagem-eps.html>. Acesso em: 30 Agosto 2022.

MARQUES, Paulo V.; MODENESI, Paulo J.; BRACARENSE, Alexandre Q. **Soldagem Fundamentos e Tecnologias**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

MARQUES, Paulo V.; MODENESI, Paulo J.; BRACARENSE, Alexandre Q. **Soldagem Fundamentos e Tecnologias**. Belo Horizonte. 2009.

MODENESI, Paulo J. **Normas e Qualificação em Soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 2. 2005.

MONDENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V.; SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. UFMG. Belo Horizonte. 2012.

NBR 8800:2008, ABNT. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

NBR 8800:2008, ABNT. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

NETO, Augusto C. Estruturas Metálicas I. **ACN Engenharia**, Campinas, 2008. Disponível em: http://www.acn.eng.br/imagens/downloads_acad/EM%20I.pdf. Acesso em: 10 Novembro 2021.

NISBETT, J. K.; BUDYNAS, G R. **Elementos de Máquinas Shigley**. 10°. ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2016.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquina**. 4. ed. São Paulo: Bookman Ltda, v. 1, 2013. 154 p.

OLIVEIRA, Tiago A. D. *et al.* Comparativo de dimensionamento para execução entre ligações parafusadas por meio de parafusos de alta resistência e ligações soldadas com eletrodo revestido. **Colloquium Exactarum**, Araçatuba, v. 10, p. 46, 28 Fevereiro 2019. ISSN 4.

P. S. GREEN, Chairman, J. A. M. M. S. R. D. E. E. **AISI Standard North American Specification**. Canadá: CSA Group, 2016.

PEREIRA, Ronivon S.; GOMES, Orlano F. Ligações em Estruturas de aço utilizando emendas com parafusos de alta resistência solicitadas na flexão simples. **Revista eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás, v. 8, p. 27 - 42, 24 Junho 2014. ISSN 2.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michéle. **Estruturas de Aço: dimensionamento prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: Diagrama Aço, v. 1, 2009. 63 p.

PINHEIRO, Antonio C. D. F. B. **Estruturas Metálicas Cálculos, Detalhes, Exercícios e Projetos**. 2°. ed. São Paulo: Blucher, 2005.

QUITES, Prof. D. A. [Weldingland.com.br](http://weldingland.com.br). **Weldingland**, 2011. Disponível em: <https://www.weldingland.com.br/post/terminologia-da-soldagem-descontinuidades>. Acesso em: 28 jan. 2024.

SÁLES, José J. D. Solicitações em parafusos e soldas. In: SÁLES, José J. D. **Ligações em Estruturas de Aço**. São Carlos: [s.n.], 1994. Cap. 3, p. 35.

SOLDAGEM, Guia P. D. **Processos de Soldagem**. [S.l.], p. 24.

SOUZA, Alex S. C. D. **Resistencia de Ligações**. São Carlos: SciELO, 2017.

SOUZA, Alex S. C. D.; SACCHI, Caio C. Manifestações Patológicas e Controle de Qualidade na Montagem e Fabricação de Estrutura Metálicas. **[REEC] Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, São Carlos, 13, 31 Agosto 2017. 20-34.

TEIXEIRA, Thais. Estruturas Metálicas. **JRS Digital**, 23 Abril 2021. Disponível em: <https://jrs.digital/2021/04/23/o-que-voce-precisa-saber-sobre-estruturas-metalias/>. Acesso em: 10 Novembro 2021.

VALENCIANI, Vitor C. **Ligações em Estruturas de Aço**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 352. 1997.

VASCONSELOS, Alexandre L. **Manual de Construção em Aço: Ligações em Estruturas Metálicas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / Centro Brasileiro da Construção em Aço, v. 2, 2011.

ANEXOS

ANEXO “A” – QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTOS E SOLDADORES

Figura A. 1: Anexo Especificação de Procedimento de Soldagem (Frente)

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)

Nome da Companhia:
EPS Nº: Data: .../.../.... RQP correspondente(s):
Processo(s) de soldagem: Tipo:
(manual, semi-, automático)

JUNTAS: Projeto da Junta: Cobre Junta (Sim/Não): Material (tipo): Outro:	TRAT. TÉRMICO APÓS SOLDAGEM: Faixa de Temperatura: Tempo de permanência: Outro:
METAIS DE BASE: Tipo: Análise química: Faixa de espessura: Outro:	CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS: Corrente (CC/CA): Polaridade: Faixa de corrente: Tensão: Outro:
METAIS DE ADIÇÃO E FLUXOS: Classif. AWS: Marca comercial: Dimensões: Outro:	TÉCNICA: Dimensão do bocal: Dist. Bico de contato-peça: Limpeza inicial ou entre passes (escovamento, esmerilhamento, ...): Cordão (reto/trançado): Oscilação: Método de goivagem: Número de passes (por lado): Eletrodo (simples ou múltiplo): Velocidade de soldagem (faixa): Posição: Outro:
GÁS: Gás(es) de proteção: Composição (misturas): Vazão: Outro:	
PRÉ-AQUECIMENTO: Temperatura: Temp. entre passes: Outro:	

Fonte: (MODENESI, 2005)

Figura A. 2: Anexo Especificação de Procedimento de Soldagem (Verso)

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (verso)

DETALHES DA JUNTA:							
Passe	Processo	Metal de adição		Corrente		Faixa de Tensão (V)	Velocidade de Soldagem (mm/s)
Nº		Classe	Diâmetro	Pol.	Faixa (A)		

Fonte: (MODENESI, 2005)

Figura A. 3: Anexo Registro de Teste de Qualificação de Soldador (Operador de Soldagem)

Registro de Teste de Qualificação de Soldador (Operador de Soldagem)

Nome: Identificação:

Processo de soldagem: Tipo:
(manual, semi-auto., mecanizado)

Posição: (plana, horizontal, vertical up ou down, sobre-cabeça)

De acordo com EPS N°:

Tipo de material:

Diâmetro e espessura (tubo) ou espessura da junta:

Faixa de espessuras qualificada:

METAL DE ADIÇÃO

Especificação: Classificação: F n°:

Descrição (se não for coberto por norma):

.....

Nome(s) comercial(is):

Cobre-Junta (Sim/Não):

Resultado de Teste de Dobramento Guiado

Tipo	Resultado	Tipo	Resultado

Laboratório: Teste n°:

Responsável:

Resultados de Teste de Solda de Filete

Aparência: Tamanho do filete:

Macrografia:

Laboratório: Teste n°:

Responsável:

Resultados de Teste Radiográfico

Filme Ident.	Resultados	Observações	Filme Ident.	Resultados	Observações

Teste acompanhado por: Teste n°:

Fabricante ou contratante:

Fonte: (MODENESI, 2005)

Figura A. 4: Anexo Registro de Qualificação de Soldador

RQS				RQS Nº	
REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE SOLDADOR				Data	
Empregador:					
Nome:				SINETE:	
EPS:		Revisão:		Peça de teste ☐ Solda de produção	
Metal Base:		Espessura:			
Variáveis (QW-350)		Dados do teste		Faixa de Qualificação	
Processo (s) de soldagem		SMAW			
Método de aplicação					
Cobre-junta					
☐ Chapa ☒ Tubo (colocar Ø)					
Metal base: P ou S-N* com P ou S-N*					
Especificação (SFA) (somente para informação)					
Classificação AWS (somente para informação)					
Metal de edição F-N*					
Consumível "enxerto" (GTAW ou PAW)					
Tipo de consumível (sólido, tubular)					
Espessura do depósito para cada processo					
Posição de soldagem					
Progressão de soldagem					
Tipo de gás combustível					
Gás de purga (GTAW, PAW, GMAW)					
Modo de Transferência (GMAW)					
Tipo de corrente e polaridade (GTAW)					
INSPEÇÃO VISUAL (QW-302.4)					
Data da soldagem:		Laudo		Visto do Inspetor	
ENSAIO DE DOBRAMENTO GUIADO					
Transversal ☐		Longitudinal ☐		Face e raiz ☐ Lateral ☐	
Figura:		Dimensões (mm):			
Identificação	α do cutelo	Distância dos roletes	Ângulo	Identificação e dimensões das descontinuidades	
Laboratório:		Relatório:		Laudo:	
EXAME RADIOGRÁFICO QW-191					
Executante do exame:					
Identificação do filme:		Relatório n°:		Laudo:	
TESTE DE SOLDAGEM EM ÂNGULO QW-181.2					
Teste de fratura: soma total dos comprimentos dos defeitos (mm) e %:					
Teste macrográfico – fusão:					
Dimensão da perna (mm)	x	concavidade (mm)	convexidade (mm)		
Nós, abaixo assinados, certificamos que os valores e informações constantes deste documento estão corretos e que a peça de teste foi preparada, soldada e testada de acordo com os requisitos do código.					
OBSERVAÇÕES					
Elaborado		Verificado		Aprovado	

Fonte: (FÁBIO, 2007)

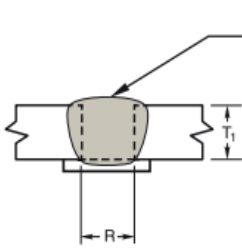
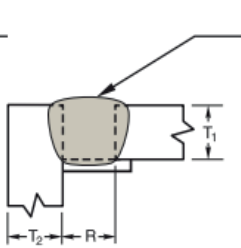
Figura A. 5: Juntas Soldadas Pré Qualificadas aplicadas em estruturas metálicas

JUNTAS SOLDADAS PRÉ-QUALIFICADAS		
Designação para Tipos de Juntas		
B	junta de topo (butt joint)	BC junta de topo ou de canto
C	junta de canto (corner joint)	TC junta em T ou de canto
T	junta em T	BTC junta de topo, em T ou de canto
Designação para a Espessura do Metal Base e Penetração		
L	espessura limitada, penetração total	
U	espessura ilimitada, penetração total	
P	penetração parcial	
Designação para Tipos de Entalhes		
1	entalhe reto	6 entalhe em U simples
2	entalhe em V simples	7 entalhe em U duplo
3	entalhe em V duplo	8 entalhe em J simples
4	entalhe em bisel simples	9 entalhe em J duplo
5	entalhe em bisel duplo	10 entalhe em bisel curvo
Designação para o Processo de Soldagem		
S	solda com arco submerso - SAW	
G	solda com proteção gasosa - GMAW	
F	solda com arame tubular - FCAW	
Designação para a Posição de Soldagem		
F	plana (flat)	
H	horizontal	
V	vertical	
OH	sobre cabeça (overhead)	
As letras minúsculas (por exemplo, a, b, c, d, etc.) são usadas para diferenciar juntas que possuem a mesma designação.		
Notas para as Juntas Soldadas Pré-qualificadas		
A	Junta não é pré-qualificada para processo GMAW que utiliza transferência por curto-circuito.	
B	Juntas soldadas de um lado apenas.	
Br	Aplicações em "ponte" limitam o uso destas juntas na posição horizontal.	
C	Extração de raiz antes de soldar o segundo lado.	
E	Garganta efetiva mínima conforme mostrado na Especificação LRFD, tabela J2.3.	
J	Se a solda de filete for usada para reforçar soldas de entalhe em juntas de canto ou em T, ela deve ser igual a 1/4T ₁ , com limite de 9,5 mm.	
J2		
L	Em pontes, juntas de topo e em T não são pré-qualificadas	
M	Soldas em duplo entalhe devem possuir profundidades desiguais, mas a profundidade do entalhe mais raso deve ser superior a 1/4 da espessura da peça menos espessa.	
Mp	Soldas em duplo entalhe devem possuir profundidades desiguais, conforme as limitações da Nota E. Além disso, a garganta efetiva (E), sem nenhuma redução, aplica-se individualmente para cada entalhe.	
N	A orientação dos dois membros da junta deve variar de 135° a 180°; mantendo a mesma configuração básica da junta (ângulo de entalhe, "face da raiz", "abertura da raiz") e a mesma espessura da garganta.	
Q	Para juntas de canto e em T, a orientação dos membros deve mudar para manter as dimensões do entalhe como especificado.	
Q2		
R	A orientação dos dois membros da junta deve variar de 45° a 135° para juntas em canto, e de 45° a 90° para juntas em T, mantendo a mesma configuração básica da junta (ângulo de entalhe, "face da raiz", abertura da raiz) e a mesma espessura da garganta.	
V	Para juntas de canto, a preparação do entalhe externo deve ser em ambos os membros, prever que se mantenha a configuração básica do entalhe e uma adequada distância entre as arestas para suportar as operações de solda sem uma excessiva fundição da aresta.	

Fonte: (KLETTENBERG, 2015)

Figura A. 6: Anexo Exemplo. das informações de juntas pré qualificadas para os processos SMAW, FCAW e GMAW

Square-groove weld (1)
Butt joint (B)
Corner joint (C)

B-L1aC-L1a

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation			Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
				Root Opening	Tolerances				
		T ₁	T ₂		As Detailed (see 3.13.1)	As Fit-Up (see 3.13.1)			
SMAW	B-L1a	1/4 max	—	R = T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	All	—	e, j
	C-L1a	1/4 max	U	R = T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	All	—	e, j
FCAW GMAW	B-L1a-GF	3/8 max	—	R = T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	All	Not required	a, j

Fonte: (FARID ALFAWAKHIRI, 2010, p. 117)



JENIFFER SUZANN MORAIS - é graduada em Engenharia de Automação Industrial pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Como aluna, foi integrante do núcleo de robótica, empresa júnior (Automatiza) e também do Programa de Educação Tutorial (PET). Durante esse tempo, antes mesmo do estágio obrigatório atuou como planejadora em áreas como manutenção de paradas e fabricação mecânica na região de Araxá-MG.

Atualmente é técnica de sistema de controles da empresa IHM Stefanini, atendendo as necessidades do departamento de Engenharia na empresa CBMM, desempenhando atividades nas áreas de planejamento de projetos (CAPEX), Prevenção e Combate a Incêndio e recentemente segurança do trabalho.



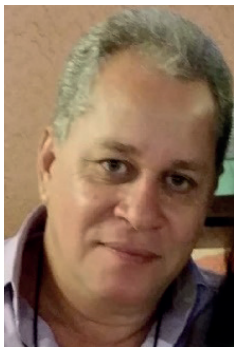
HORÁCIO ALBERTINI NETO - é doutor em engenharia mecânica e mestre em engenharia de estruturas pelo Politécnico di Milano; graduado em engenharia mecânica pela PUC Minas e em engenharia civil pela UFMG. Atuou profissionalmente como projetista mecânico e gerente industrial na empresa HASA Ltda por 15 anos e foi professor de desenho mecânico e projetos mecânicos na PUC Minas. Desde 2018 é professor do CEFET MG campus Araxá onde leciona disciplinas das áreas de processos de fabricação mecânicos no curso técnico mecânico industrial e mecânica geral nas engenharias de automação industrial e de minas.



THIAGO GOMES CARDOSO - é graduado e mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) com ênfase em mecânica dos sólidos, vibração e engenharia biomecânica. Coursou também, como aluno de intercâmbio, engenharia mecânica na Embry-Riddle Aeronautical University campus Daytona Beach, Flórida. Durante esse tempo atuou em áreas como acústica para detecção de falhas em componentes, simulação por elementos finitos de materiais compósitos, análise dimensional e otimização não linear em empresas como DuPont Engineering Technology (DuET) nos

Estados Unidos e APROM no Brasil.

Atualmente é professor do departamento de Eletromecânica do CEFET-MG desempenhando pesquisas e atividades nas áreas de elementos de máquinas, metrologia, estática e resistência dos materiais. Participa, também, do grupo de pesquisa CINTESP.Br (Centro Brasileiro de Referência em Inovações Tecnológicas para Esportes Paralímpicos) com foco no desenvolvimento de tecnologias inovadoras para o Esporte Paralímpico e pessoas com deficiência visando melhoria de performance e qualidade de vida. Também no CINTESP.Br desenvolveu seu trabalho de mestrado.



ADMILSON VIEIRA DA COSTA - é graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia em 1987, com mestrado e doutorado em Engenharia Mecânica, ambos finalizados, respectivamente, em 1998 e 2003 na Universidade Federal de Uberlândia. Tem dedicado sua carreira à docência a partir de 2001. Foi professor e coordenador nos cursos de graduação em engenharia da Universidade de Uberaba e, atualmente é professor Titular do departamento de Eletromecânica do CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais no campus IV em Araxá. Tem experiência

em Engenharia Mecânica nas áreas de processos de fabricação, atuando principalmente nos seguintes temas: Física do Arco de Soldagem, Processos de Soldagem, Conformação Mecânica e Manutenção Industrial. Atua como professor das disciplinas de Manutenção de Máquinas e Equipamentos Industriais, Conformação Mecânica e Caldeiraria e Tecnologia da Soldagem no curso Técnico em Mecânica e, na Engenharia de Automação Industrial, atua como professor da disciplina de Manutenção Industrial.



MÁRCIO PERES DE SOUZA - é graduado, mestre e doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) com ênfase em mecânica dos sólidos, vibração e engenharia biomecânica. Atualmente é professor adjunto da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia – UFU e coordenador do Laboratório de Projetos Mecânicos Prof. Henner Alberto Gomide – LPM/UFU. Atua principalmente em pesquisas e atividades nas áreas de resistência dos materiais, projetos mecânicos, vibrações, instrumentação e engenharia biomecânica. É

pesquisador atuante também no CINTESP.Br (Centro Brasileiro de Referência em Inovações Tecnológicas para Esportes Paralímpicos) desenvolvendo tecnologias inovadoras em tecnologia assistiva (TA).

COMPÊNDIO DAS
PRINCIPAIS NORMAS
SOBRE DIMENSIONAMENTO DE
LIGAÇÕES PARAFUSADAS
E SOLDADAS
EM ESTRUTURAS METÁLICAS



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COMPÊNDIO DAS
PRINCIPAIS NORMAS
SOBRE DIMENSIONAMENTO DE
LIGAÇÕES PARAFUSADAS
E SOLDADAS
EM ESTRUTURAS METÁLICAS



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br