

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**DIONATAN AMARAL RODRIGUES
KÉZIA CHEMP DE CASTRO**

**ESTUDO DAS LIGAÇÕES MAIS USADAS EM EDIFÍCIOS DE
ESTRUTURA METÁLICA, SOBRE OS ASPECTOS DO TEMPO DE
EXECUÇÃO**

**VOLTA REDONDA
2019**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ESTUDO DAS LIGAÇÕES MAIS USADAS EM EDIFÍCIOS DE
ESTRUTURA METÁLICA, SOBRE OS ASPECTOS DO TEMPO DE
EXECUÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Alunos:

Dionatan Amaral Rodrigues

Kézia Chemp de Castro

Orientador:

Prof. M.Sc. Fernando Ottoboni Pinho

VOLTA REDONDA

2019



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **ESTUDO DAS LIGAÇÕES MAIS USADAS EM EDIFÍCIOS DE ESTRUTURA METÁLICA, SOBRE OS ASPECTOS DO TEMPO DE EXECUÇÃO**

Elaborado por **Dionatan Amaral Rodrigues** - Matrícula: **201420334** e **Kézia Chemp de Castro** - Matrícula: **201611237**, foi apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Civil.

Aprovado em 28 de Outubro de 2019

Banca Avaliadora:

Professor Orientador

Prof. Me Fernando Ottoboni Pinho, UniFOA

Professor Avaliador

Prof. Me Rui Aurélio Barbosa, UniFOA

Professor Avaliador

Prof. Esp. Rogério Nogueira Pereira, UniFOA

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares pelo amor, apoio e incentivo incondicional nesses cinco anos de estudos, aos nossos mestres por nos proporcionar um excelente embasamento teórico e a todos que direta ou indiretamente participaram de nossa formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente à Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, por ter nos dado saúde e força pra superar as dificuldades ao longo da nossa vida, não somente nestes 5 anos acadêmicos, mas que em todos os momentos, provando ser o maior mestre.

A esta instituição de ensino superior, ao seu corpo docente, administrativo e a direção pela oportunidade de aprender em um ambiente criativo e amigável.

Ao nosso Professor M.Sc. Fernando Ottoboni Pinho pelo tempo disponível para orientação, também aos professores José Marcos Rodrigues Filho, Joice Andrade de Araújo, Marcelo e Weslen Neri de Lima que disponibilizaram tempo e compartilharam seus conhecimentos para realização deste trabalho de conclusão de curso.

Também agradecemos aos funcionários da secretaria, principalmente a Cristiane Braga da Silveira que sempre atendeu com total educação.

Aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio financeiro e emocional e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, muito obrigado.

E por último, mas não menos importante, aos nossos amigos, em especial Luanna, Marcelle e Sarah, por toda a ajuda e companheirismo compartilhados até aqui, foi um prazer estar ao lado de todos nessa trajetória e viver momentos incríveis, a vocês nosso eterno agradecimento e amor.

RESUMO

Devido ao grande número de conexões existentes nos elementos estruturais, notou-se a falta de conteúdo que facilite uma aplicação mais favorável nas ligações, mantendo o controle das resistências. Com isso, o presente trabalho tem por objetivo analisar o tempo gasto na execução das ligações mais utilizadas em edifícios de estruturas metálicas, com base no manual do Gerdau e nos procedimentos empregados pela ABNT NBR 8800/2008. As ligações parafusadas, que são dispositivos de fixação, usadas na união não permanente de peças, ou seja, as peças podem ser desmontadas e montadas facilmente e as ligações soldadas, que tem a facilidade da execução das juntas, livre de falhas ou fissuras. Após algumas pesquisas, dentro dos padrões exigidos pela NBR 8800/2008, esse trabalho sugere qual o procedimento mais adequado para executar as ligações, seja diretamente no canteiro de obras ou na fábrica. Indicando esta possibilidade, visa-se, assim, reduzir o tempo para a execução da obra e a diminuição do desperdício de materiais.

Palavras-chave: Estrutura metálica; ligações; soldas; parafusos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Problema Abordado	11
1.2 Justificativa.....	12
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
2 Revisão bibliográfica	13
2.1 História do Aço	13
2.2 Processo de Fabricação do Aço.....	13
2.3 Vantagens das Estruturas Metálicas	14
2.4 NBR 8800/2008.....	15
2.5 Ligações	16
2.6 Classificação das Ligações	17
2.6.1 Conforme a Rigidez.....	17
2.7 Dispositivos de Ligação.....	19
2.7.1 Conexões Parafusadas	19
2.7.1.1 Tipos de Parafuso	21
2.7.1.1.1 Parafusos Comuns	21
2.7.1.1.2 Parafusos de Alta Resistência.....	22
2.7.1.2 Furação	23
2.7.2 Conexões Soldadas	25
2.7.2.1 Processo de Soldagem	26
2.7.2.2 Tipos de Solda	31
2.7.2.2.1 Soldas de Filete	32
2.7.2.2.2 Soldas de Penetração	33
2.7.2.2.3 Soldas de Tampão.....	34
2.7.2.3 Posições de Soldagem	36
2.8 Elementos de Ligações	39

2.8.1 Ligações Flexíveis com Cantoneiras – LCPP / LCSP	39
2.8.1.1 Sistemas Construtivos.....	40
2.8.1.2 Valores Limites.....	40
2.8.1.3 Formulário	40
2.8.2 Ligações Rígidas Soldadas Simétricas - LMSS	52
2.8.2.1 Sistemas Construtivos.....	52
2.8.2.2 Valores Limites.....	53
2.8.2.3 Formulário	53
3 ESTUDO ANALÍTICO.....	61
4 CONCLUSÃO	72
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ligação rígida.	18
Figura 2 - Ligação flexível.	18
Figura 3 - Modelo de parafuso.	20
Figura 4 - Modelo de conexões parafusada.	20
Figura 5 - Modelo de parafuso comum.....	21
Figura 6 - Modelo de parafuso de alta resistência.....	22
Figura 7 - Modelo de solda (SMAW).	27
Figura 8 - Modelo de solda arco submerso.	28
Figura 9 - Modelo de solda gasosa.	29
Figura 10 - Modelo de solda arame tubular.....	30
Figura 11 - Solda de filete.	32
Figura 12 - Solda de penetração total.	33
Figura 13 - Solda de penetração parcial.	33
Figura 14 - Posições de soldagem.	36
Figura 15 - Simbologias.	37
Figura 16 – Simbologias.....	38
Figura 17 - Modelo de ligações com cantoneiras: (a) LCPP, (b) LCSP.....	39
Figura 18 - Modelo de ligação rígida soldadas simétricas.....	52
Figura 19 - Corte do perfil.....	65
Figura 20 - Corte das abas.....	66
Figura 21 - Máquina de corte plasma - UNIPlasma.....	66
Figura 22 - Ligação flexível com cantoneira – LCPP.....	67
Figura 23 - Ligação flexível com cantoneira - LCPP.	67

Figura 24 - Ligação rígida soldada.	68
Figura 25 - Corte no maçarico.	68
Figura 26 - Furação com o maçarico.	69
Figura 27 - Ligação LCPP realizada no canteiro de obras.	69
Figura 28 - Ligação LCSP realizada no canteiro de obras.	70
Figura 29 - Ponteamento de solda no enrijecedor na alma.	70
Figura 30 - Ligação rígida - LMSS.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Processo de soldagem	26
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens das ligações soldadas SMAW.....	27
Quadro 3 – Modelo de solda arco submerso.....	28
Quadro 4 – Vantagens e desvantagens da solda gasosa.	29
Quadro 5 – Vantagens e desvantagens da solda arame tubular.....	31
Quadro 6 – Diâmetro de furo.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Materiais usados em parafusos.....	22
Tabela 2 – Diâmetro de furos para parafusos.	24
Tabela 3 – Dimensões básicas de parafusos e porcas de alta resistência.	24
Tabela 4 – Rotação da porca da posição de pré-torque.	25
Tabela 5 – Dimensões para solda de filete.	32
Tabela 6 – Resistência de cálculo da solda de entalhe.....	34
Tabela 7 – Menor espessura do metal-base e mínima da garganta efetiva.....	34
Tabela 8 – Resistência da solda tampão.	35
Tabela 9 – Ligações flexíveis com cantoneiras - LCPP	48
Tabela 10 – Ligações flexíveis com cantoneiras.....	50
Tabela 11 – Ligações rígidas soldadas simétricas - LMSS	60
Tabela 12 – Tempo de execução das ligações flexíveis com cantoneiras.	62
Tabela 13 – Tempo de execução das ligações rígidas soldadas simétricas.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas

ASTM – *American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana de Ensaio e Materiais)

AWS – *American Welding Society* (Sociedade Americana de Soldagem)

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

FCAW – *Flux Cored Arc Welding* (Soldagem a Arco de Núcleo Fundido)

GMAW – *Gas Metal Arc Welding* (Soldagem a Arco de Metal a Gás)

ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização)

LCPP - Ligações com duas cantoneiras parafusadas nas duas abas

LCSP - Ligações com duas cantoneiras soldadas na viga apoiada e parafusadas no elemento suporte, viga ou pilar

LMSS - Ligações rígidas soldada simétrica

MAG – *Metal Active Gas* (Gás Ativo de Metal)

MIG – *Metal Inert Gas* (Gás Inerte de Metal)

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

SAW – *Submerged Arc Welding* (Soldagem a Arco Submerso)

SMAW – *Shield Metal Arc Welding* (Escudo de Soldagem a Arco de metal)

NOMENCLATURA

A = distância entre os pontos de aplicação de N_d e T_d

A_b = área bruta da seção do parafuso

A_{bc} = comprimento mínimo do bloco de concreto

A_{gtc} = área bruta do elemento de ligação, sujeita a tração, para o cálculo do colapso por gtc rasgamento (*block shear*)

A_{gtw} = área bruta da alma da viga, sujeita a tração, para o cálculo do colapso por rasgamento gtw (*block shear*)

A = área bruta do elemento de ligação, sujeita a cisalhamento, para o cálculo do colapso por gvc rasgamento (*block shear*)

A_{gvc} = área bruta da alma da viga, sujeita a cisalhamento, para o cálculo do colapso por gvw rasgamento (*block shear*)

A_{ntc} = área líquida do elemento de ligação, sujeita a tração, para o cálculo do colapso por ntc rasgamento (*block shear*)

A_{ntw} = área líquida da alma da viga, sujeita a tração, para o cálculo do colapso por rasgamento ntw (*block shear*)

A_{nvc} = área líquida do elemento de ligação, sujeita a cisalhamento, para o cálculo do colapso por nvc rasgamento (*block shear*)

A_{nvw} = área líquida da alma da viga, sujeita a cisalhamento, para o cálculo do colapso por nvw rasgamento (*block shear*)

A_{pb} = comprimento da placa de base pb

b = cateto do filete de solda, largura da chapa simples

b_a = largura da aba da cantoneira a

b_f = largura da mesa do Perfil laminado

b_{ft} = largura da mesa do Perfil T

B_{bc} = largura mínima do bloco de concreto

B_{pb} = largura da placa de base

d = altura do Perfil laminado

d_b = diâmetro do parafuso

d_c = diâmetro do chumbador

d_l = distância do furo a borda da placa de base na direção da largura

d_f = distância do furo a borda da placa de base na direção do comprimento

d_h = diâmetro do furo

e = distância vertical entre furo e borda; excentricidade em placas de base (Md/Nd)

e_c = distância da linha de parafusos até a linha de solda

e_t = distância horizontal entre furo e borda da chapa de extremidade

e_1 = distância horizontal entre furo e borda

e_2 = distância vertical entre furo e face mais próxima da mesa da viga

F = força; valor de ação

f_c = tensão de compressão no concreto

f_u = limite de resistência a tração do aço da viga apoiada

f_{ub} = limite de resistência a tração do aço do parafuso

f_{uc} = limite de resistência a tração do aço do elemento de ligação (cantoneira ou chapa)

f_{ut} = limite de resistência a tração do aço do Perfil

f_y = limite de escoamento do aço da viga apoiada

f_{yc} = limite de escoamento do aço do elemento de ligação (cantoneira ou chapa)

f_y = limite de escoamento do aço do Perfil T

g = gabarito de furação da cantoneira ou da chapa simples

g_{ch} = gabarito de furação da chapa de extremidade

G = gabarito de furação da mesa do Perfil T

h = distância entre as faces internas das mesas dos Perfis

H = altura da viga apoiada

H_c = altura da chapa de extremidade

L_c = comprimento do elemento de ligação (cantoneira ou chapa); comprimento embutido do c chumbador

L_{ch} = altura da chapa de extremidade

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Bellei, Pinho e Pinho (2008), as estruturas metálicas revelam características de fundamental importância perante aos aspectos de projeto, resistência, concepção e execução. A implantação do aço em edificações, desde sua origem, teve por intuito revolucionar a construção civil, devido sua facilidade de transporte, execução e otimização do tempo de montagem. A utilização do ferro teve um crescimento em escala industrial, tendo como primeira obra a construção de uma ponte de ferro fundido iniciada nos meados do século XIX sobre o Rio Severn, localizada na cidade de Coalbrookdale, no Reino Unido, tornando-se uma das edificações pioneiras da revolução industrial.

Ao decorrer dos anos, tornaram-se perceptíveis as vantagens na utilização das estruturas em aço, tais como uma maior resistência, a capacidade atingir maiores vãos, menor peso na estrutura, com perfis mais esbeltos, aumentando sua área útil e, por conseguinte, tornando-se um método construtivo muito usual.

Atualmente, existem no mercado diversos meios de conectores para peças de estruturas metálicas, sendo os principais a soldagem e os parafusos.

Com base no exposto, este presente trabalho tem por finalidade elaborar um estudo das principais ligações metálicas e suas características na construção, tendo em vista, como foco principal, seus conectores. Para que assim, seja possível uma melhor observação das diferenças e/ou igualdades entre elas, com o intuito de garantir um melhor estado de construtibilidade e a garantia de um bom projeto.

1.1 Problema Abordado

Com a demanda dos projetos em estruturas metálicas e a falta de conhecimento sobre o assunto, na maioria das vezes, os métodos de ligações não são aplicados corretamente em cada tipo de construção. Isto pode vir a gerar um desgaste e conseqüentemente prejudicar a vida útil da edificação.

Desta forma, questiona-se qual o método mais prático, para que seja feita as ligações, dentre as abordadas, suas vantagens e desvantagens e o tempo de

execução no canteiro de obras ou na fábrica, para uma edificação residencial de estrutura metálica.

1.2 Justificativa

Desenvolver o projeto de estudo analítico em virtude de reduzir o tempo de execução das ligações na obra e de evitar desperdícios de materiais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

- Este trabalho tem por objetivo geral apresentar uma relação entre: ligações flexíveis com cantoneiras e ligações rígidas soldadas simétricas, com intuito de analisar o tempo do processo de execução.

1.3.2 Objetivos Específicos

Tendo em vista o objetivo geral, seguem os objetivos específicos pré-estabelecidos:

1. Especificar as características das ligações;
2. Especificar as características dos conectores;
3. Estudo analítico dos processos de execução em obra e na fábrica, referente ao tempo de montagem das ligações flexíveis com cantoneiras e ligações rígidas soldadas simétricas, como também suas vantagens e desvantagens.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História do Aço

Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), evidências apontam que a primeira aquisição do ferro se deu aproximadamente 6 mil anos a.C, em algumas civilizações como as da Babilônia, Índia e Egito. Devido a exclusividade, sua utilização era limitada para fins militares e abalamento em construções, pois era considerado um ferro nobre.

Em meados do século XIX, o ferro começou a ser utilizado em escala industrial, por conta dos processos de industrialização nos países como Inglaterra, França e Alemanha, que eram os mais desenvolvidos pela Revolução Industrial. Foram, paralelamente, desenvolvidos avanços na conformação e elaboração do metal onde, em 1830, se cortavam pranchas de ferro na Inglaterra. Em 1884, começou a ser produzido, na França, trilhos para ferrovias de perfis de seção I de ferro modelado, como peça principal da construção em aço.

No Brasil, somente no século XX, teve início o desenvolvimento das indústrias siderúrgicas, com a criação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira que, somada com a produção de outras pequenas fundições, a fabricação chegou a 35 mil toneladas e, ao final de dez anos, 96 toneladas.

2.2 Processo de Fabricação do Aço

De acordo com Valdir Pignatta e Silva (2012), o aço é uma liga metálica entre dois elementos: carbono e ferro, podendo, também, haver a adição de outros metais e a variação da porcentagem de carbono, que influencia na dureza e resistência, conferindo as propriedades específicas para cada tipo de aço. É amplamente empregado na construção civil, estando presente em estruturas pré-fabricadas, dobradiças, vigas e colunas metálicas, varão para armamento de vigas e colunas, entre outros.

Para sua fabricação, o carvão mineral é transportado até a coqueria, onde é transformado em coque siderúrgico, e o minério de ferro e os demais fundentes são beneficiados na sinter, transformando-se em pelotas, que servem para melhoria do rendimento e economia do processo. A matéria-prima é, então, encaminhada para alto forno, onde ocorre a injeção de ar quente, fundindo os materiais através de uma reação exotérmica, gerando o gusa, que é transportado em carros-torpedo até a aciaria; e a escória, que geralmente é utilizada na fabricação do cimento (Valdir Pignatta e Silva, 2012).

Na aciaria, o gusa passa pelo processo de refino, onde há a injeção de oxigênio em uma lança no conversor para a retirada de carbono, que diminui as impurezas e o transforma em aço líquido. Esse aço é resfriado na máquina de lingotamento contínuo, podendo ser transformado em tarugos ou placas e enviados para a laminação, onde os mesmos passam por máquinas de conformação mecânica, em que a compressão entre cilindros dá a forma desejada ao aço, e o mesmo é transformado em perfis laminados que já são finalizados com as dimensões e seções definidas pela siderúrgica; ou em chapas, que após os processos de soldagem, corte e dobramento, se tornam perfis formados a frio ou perfis soldados.

2.3 Vantagens das Estruturas Metálicas

A utilização de estruturas metálicas no âmbito da construção civil tem se tornado cada vez mais frequente, devido aos benefícios que englobam diversos aspectos importantes, sendo eles:

1. Alta resistência comparado a outros materiais.
2. É uma produção controlada de um material homogêneo.
3. As estruturas são fabricadas por processos industrializados, cujo efeito de escala favorece menores custos e menores prazos.
4. São facilmente montados e desmontados. E permitem, também, reforço quando necessário.
5. Reaproveitamento do material que não será mais utilizado na construção.

6. Curto prazo de execução em relação a outros materiais.

2.4 NBR 8800/2008

A NBR 8800/2008, regida pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), foi publicada após cinco anos de discussões e representou um marco para as estruturas de aço e as mistas, onde as estruturas metálicas trabalham juntas com o concreto.

Essa norma trata de projeto de estruturas metálicas, divididos entre perfis soldados e laminados. Por sua vez, adota como as referências principais a norma estadunidense ANSI/AISC 360-10, a norma canadense CAN CSA S16.1/2003 e por fim, as normas europeias EN 1993-1-1/2007 e EN 1994-1-1/2007.

É importante salientar que, essa norma foi meticulosamente adaptada à realidade do Brasil, englobando desde situações corriqueiras às mais complexas, fornecendo, de maneira clara e objetiva, procedimentos de cálculo estrutural. Destaca-se, também, que para a elaboração desta norma, foi levado em consideração as outras normas brasileiras regidas pela ABNT que são correlacionadas às estruturas metálicas e mistas.

De maneira geral, tem por objetivo assegurar que tais estruturas sejam projetadas de modo a trazer conforto e segurança para os que dela usufruem. Para tal, a norma estabelece alguns quesitos tais como:

- Qualidade do aço: onde leva em consideração a resistência mecânica dos materiais utilizados e os tipos de ligações, juntamente com uma relação entre o ambiente e a estrutura exposta ao mesmo.
- Cobrimento da estrutura feita de aço: na qual busca garantir uma maior segurança e resistência, definindo também as ligações utilizadas no mesmo.

- Cuidados na execução da obra: Onde por meio deles é possível obter uma certeza de que a construção será segura e durável. Cuidados estes que vão desde o local da aplicação dos materiais, o ambiente onde estão dispostos e planos pós aplicação dos mesmos.
- Parâmetros das ligações: são feitas as definições de quais ligações são as mais bem indicadas para obter uma melhor durabilidade das estruturas e o não prejuízo dela, onde vários controles técnicos e rigorosos são feitos.

2.5 Ligações

Segundo a NBR 8800/2008, ligações metálicas consistem na associação de peças ligadas entre si. Esses perfis se limitam pela capacidade e comprimento em suas seções transversais devido ao transporte disponível. A junção destas peças é feita utilizando conectores e por solda, como por exemplo placas de base, chapas de ligação, cantoneiras, consolos e tendo os meios de ligação, como soldas, parafusos, entre outros.

Além dos aspectos técnicos relacionados com resistência, qualidade e segurança, é importante levar em consideração que as ligações representam um importante componente no custo da estrutura. A racionalidade torna-se um fator de competitividade que pode, inclusive, influenciar a escolha do sistema construtivo. É bom lembrar, também, que as ligações fazem parte do conjunto de elementos que compõe a estética da construção, principalmente nas estruturas aparentes. (GERDAU, 2018, p.5)

De acordo com Castro (1999), a imposição de determinado tipo depende da concepção estrutural proposta pelo projetista, baseado principalmente na escolha do sistema de estabilização vertical: pórtico, contraventamento, parede de cisalhamento ou núcleo de concreto.

Tais componentes de ligações devem ser dimensionados de maneira que sua resistência de cálculo seja igual ou superior à solicitação de cálculo, determinada pela análise da estrutura sujeita às combinações de cálculo das ações e pela porcentagem especificada da resistência da barra ligada.

2.6 Classificação das Ligações

De acordo com a NBR 8800/2008, as ligações nos elementos estruturais são classificadas em parafusadas ou soldadas. Os parafusos e soldas somente trabalham juntos em casos que haja cisalhamento, pois os parafusos são instalações em furos-padrões ou furos pouco alongados, tendo como sua maior dimensão transversal à direção da força, trabalhando conjuntamente a filetes longitudinais de solda, desde que considerada menor que 50% da força resistente de cálculo do grupo de parafusos.

Assim, quando as ligações são classificadas em parafusadas ou soldadas, na maior parte das vezes, o cálculo da ligação implica na verificação de grupos de parafusos ou de linhas de solda.

Devido às suas próprias características, nos casos em que as ligações são de fábrica, torna-se mais viável o uso da solda, enquanto nas ligações de campo utilizam-se, preferencialmente, os parafusos.

Nos processos de análise e dimensionamento de estruturas metálicas, é possível afirmar que não basta somente classificar a ligação quando relacionadas a fábrica ou campo, como também devem ser consideradas outras classificações.

2.6.1 Conforme a Rigidez

As respostas de uma estrutura às ações solicitantes são muito afetadas pela rigidez das ligações, ou seja, sua capacidade de impedir a rotação relativa local das peças ligadas. Por esse motivo, no padrão para a análise estrutural, faz-se necessário indicar corretamente o grau de rigidez de cada ligação. As ligações deverão estar corretamente planejadas e dimensionadas, sob pena da estrutura não atender, em termos de deslocamento e rotações, conforme o esperado (Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2004).

Dessa forma, as ligações deverão ser projetadas conforme as hipóteses feitas para os nós das barras na análise estrutural. Nos locais onde foram previstas ligações rígidas deverão ser previstos detalhes que efetivamente impeçam a rotação relativa das partes, como é possível observar na figura 1. No local em que a ligação pode

permitir a rotação equivalente das partes, os detalhes poderão ser tais que proporcione essa rotação com o número de restrição. Na figura 2 é possível observar este conceito.

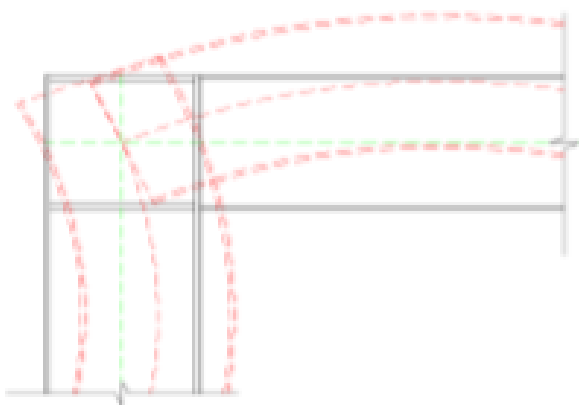


Figura 1 - Ligação rígida.
Fonte: Manual CBCA (2017)

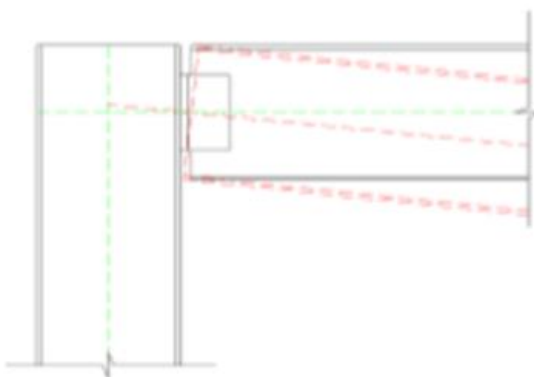


Figura 2 - Ligação flexível.
Fonte: Manual CBCA (2017)

Além das ligações rígidas e flexíveis, existem as ligações semirrígidas. Para isso, deve-se, primeiramente, conhecer a relação de dependência entre o momento resistente e a rotação, sendo esta última raramente utilizada devido à dificuldade de se estabelecer esta relação.

2.7 Dispositivos de Ligação

Os dispositivos de ligação são elementos que tem por objetivo promover a união entre as partes da estrutura metálica. São divididos entre conexões parafusadas e soldadas.

2.7.1 Conexões Parafusadas

Os parafusos são formados pelo fuste, cabeça e rosca, conforme mostrado na figura 3. A resistência à tração é função do diâmetro efetivo, mas podem ser identificados pelo diâmetro nominal. Os dois principais tipos de parafusos usados em ligações são: comum e de alta resistência. Os comuns são mais utilizados em estruturas leves, secundárias ou temporárias, são dificilmente encontrados. Os de alta resistência são empregados nas ligações principais, sendo subdivididos em dois tipos, sendo eles de contato (*bearing-type*) ou de atrito (*friction-type*) (Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2004).

As conexões parafusadas podem ser de dois tipos: ligação do tipo contato (*bearing-type*) ou do tipo atrito (*friction-type*). No primeiro tipo, podem ser utilizados parafusos comuns ou de alta resistência, já que os parafusos são instalados sem aperto controlado (protensão). Quanto ao segundo tipo, apenas os parafusos de alta resistência podem ser utilizados, uma vez que a resistência ao deslizamento está diretamente ligada à protensão aplicada aos parafusos. (CBCA, 2017, p. 42)

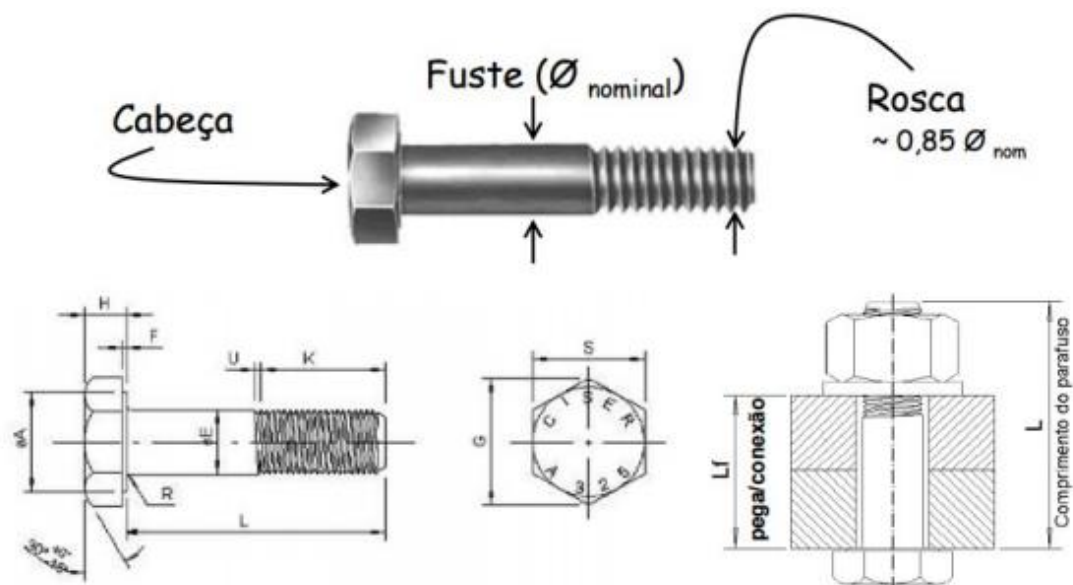


Figura 3 - Modelo de parafuso.
Fonte: Manual GERDAU (2018)

Na figura 4 é possível observar uma conexão do tipo parafusada.



Figura 4 - Modelo de conexões parafusadas.
Fonte: Autores (2019).

2.7.1.1 Tipos de Parafuso

Os parafusos mais utilizados em conexões de estruturas metálicas são os parafusos comuns e os de alta resistência.

2.7.1.1.1 Parafusos Comuns

Os parafusos comuns também são conhecidos como parafusos de baixo carbono, por ter um baixo teor de carbono. Sua fabricação é executada a partir de barras de aços ou fio máquina, com base nas especificações da ASTM A307/2014 ou ISO 898-1/2013 classe 4.6, sendo mais utilizado o primeiro.

Em geral, os parafusos de baixo teor carbônico são compostos por porca e cabeça, podendo ser sextavada ou quadrada, com rosca ao longo de seu comprimento total ou parcial, conforme pode ser observado na figura 5.

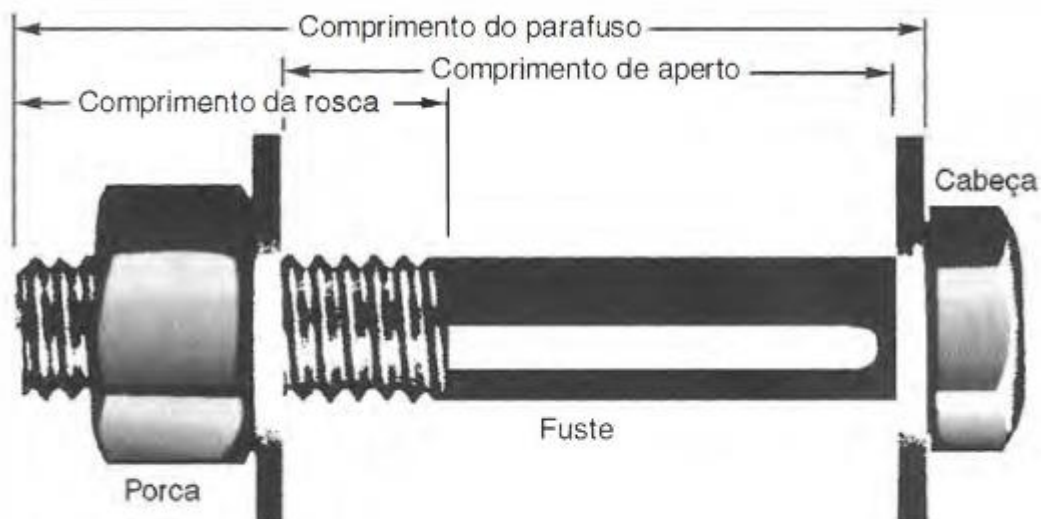


Figura 5 - Modelo de parafuso comum.
Fonte: Walter Pfeil (2009).

2.7.1.1.2 Parafusos de Alta Resistência

Os parafusos de alta resistência mecânica, em seu processo de fabricação, baseiam-se nas especificações da ASTM A325/2019 e A490/2013 ou também na ISO 4016/2011 Classe 10.9 ou 8.8. Estes possuem cabeça e porca hexagonal, constando na cabeça sua especificação, sendo as mais usuais as de A325 e A490.

Na figura 6 é possível observar este conceito.

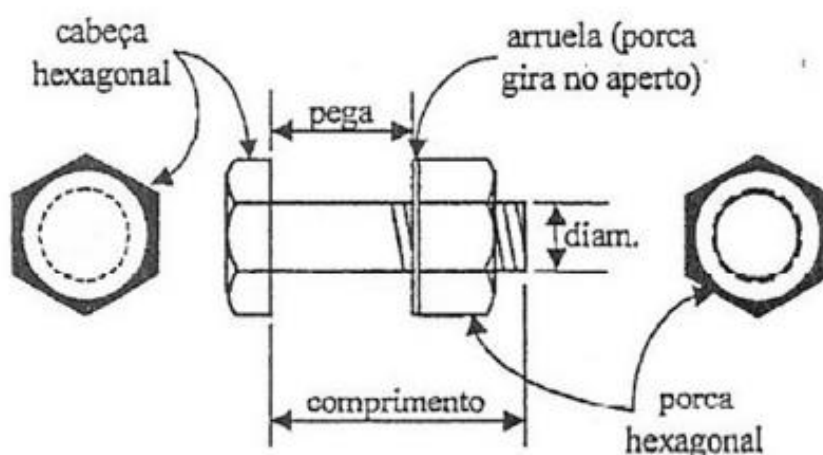


Figura 6 - Modelo de parafuso de alta resistência.
Fonte: CBCA (2017)

Na tabela 1 é possível observar os valores mínimos de resistência ao escoamento (f_{yb}) e de resistência à ruptura de parafusos (f_{ub}) de acordo com as especificações exigidas pela NBR 8800/2008, bem como os diâmetros especificados.

Tabela 1 – Materiais usados em parafusos.

Especificação	f_{yb}	f_{ub}	Diâmetro d_b	
			mm	polegada
ASTM A307	-	415	-	$1/2 \leq d_b \leq 4$
ISO 898-1 Classe 4.6	235	400	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ASTM A325 ^a	635	825	$16 \leq d_b \leq 24$	$1/2 \leq d_b \leq 1$
	560	725	$24 \leq d_b \leq 36$	$1 \leq d_b \leq 1 \frac{1}{2}$

Continua

ISO 4016 Classe 8.8	640	800	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ASTM A490	895	1035	$16 \leq d_b \leq 36$	$1/2 \leq d_b \leq 1 \frac{1}{2}$
ISO 4016 Classe 10.9	900	1000	$12 \leq d_b \leq 36$	-

^a Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588

Fonte: NBR 8800 (2008).

2.7.1.2 Furação

De acordo com Pfeil (2009), quando as seções de estruturas metálicas recebem os furos para que seja permitida a ligação entre elas, a seção desta peça é enfraquecida através dos furos. Estes são realizados através de puncionamento e de broqueamento.

O processo de furação mais econômico a ser utilizado consiste em puncionar um furo com diâmetro 1,5 milímetros superior ao diâmetro do conector, que corresponde à folga do furo relacionado ao diâmetro do conector. Este puncionamento danifica o material localizado próximo ao furo e como forma de compensar, no cálculo, o diâmetro do conector é acrescido em mais 2 milímetros, totalizando 3,5 milímetros a mais.

Entretanto, erros relacionados à furação, são comuns, tais quais: falhas no gabarito de furação, problemas de ajustes de furação e furos que não estão revistos no projeto.

A tabela 2 dispõe o diâmetro em milímetros para quatro tipos diferentes de parafusos em polegadas.

Tabela 2 – Diâmetro de furos para parafusos.

FUROS PARA PARAFUSOS	
DIÂMETRO (mm)	PARAFUSOS (pol -Polegadas)
18	5/8"
21	3/4"
24	7/8"
27	1"

Fonte: CBCA (2017)

As dimensões, porcas e arruelas dos parafusos são especificadas na ASME B 18.2.6, levando em considerações os parafusos de cabeça e porca hexagonal. As dimensões básicas de parafusos e porcas de alta resistência são dispostas na tabela 3.

Tabela 3 – Dimensões básicas de parafusos e porcas de alta resistência.

Diâmetro dos parafusos (pol)	Dimensões para parafusos estruturais hexagonais			Dimensões para porcas hexagonais	
	F (pol)	H (pol)	Comprimento da rosca (pol)	W (pol)	H (pol)
½	7/8	5/16	1	7/8	31/64
5/8	1 1/16	25/64	1 1/4	1 1/16	39/64
3/4	1 1/4	15/32	1 3/8	1 1/4	47/64
7/8	1 7/16	35/64	1 ½	1 7/16	55/64
1	1 5/8	39/64	1 3/4	1 5/8	63/64
1 1/8	1 13/16	11/16	2	1 13/16	1 7/64
1 1/4	2	25/32	2	2	1 7/32
1 3/8	2 13/16	27/32	2 1/4	2 3/16	1 11/32
1 ½	2 3/8	15/16	2 1/4	2 3/8	1 15/32

Fonte: NBR 8800 (2008)

De acordo com a NBR 8800/2008, o controle do aperto dos parafusos nas seções das estruturas metálicas pode ser feito por intermédio de três processos. Entretanto, todos os parafusos obtêm um ajuste adicional por meio da rotação adequado da porca, sendo este um dos processos. A tabela 4 representa este conceito.

Tabela 4 – Rotação da porca da posição de pré-torque.

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 (sem arruela biselada)	Ambas as faces inclinadas em relação ao plano normal ao eixo do parafuso não mais que 1:20 (sem arruelas biseladas)
Inferior ou igual a 4 diâmetros	1/3 de volta	½ volta	2/3 de volta
Acima de 4 diâmetros até no máximo 8 diâmetros, inclusive	½ volta	2/3 de volta	5/6 de volta
Acima de 8 diâmetros até no máximo 12 diâmetros.	2/3 de volta	5/6 de volta	1 volta

Fonte: CBCA (2017).

2.7.2 Conexões Soldadas

As ligações soldadas têm grandes vantagens na execução de uma obra, porém exige alguns requisitos, tais como uma mão de obra qualificada, boa inspeção e um controle rígido em sua execução. Em sua grande maioria, a fabricação é feita diretamente nas fabricas devido as condições adequadas e conseqüentemente evitando maiores problemas na execução e sem risco de perder na qualidade.

A NBR 8800/2008 recomenda que as técnicas de execução e os processos de soldagem das estruturas devem ser conforme a norma *Structural Welding Code* da *American Welding Society* (AWS).

2.7.2.1 Processo de Soldagem

A união das peças metálicas pode ser executada por intermédio da fusão de eletrodos metálicos. Em consequência da alta temperatura produzida por um arco voltaico, também é processada a fusão parcial dos componentes a serem ligados. Após o resfriamento, os metais base e do eletrodo passam a construir de um único corpo. Este processo demanda uma fonte energética de baixa voltagem e alta amperagem para que se possa gerar o calor preciso e os aços devem ter soldabilidade.

Segundo a NBR-8800/2008, existem vários processos de soldagem. Existem quatro formas em que o arco elétrico pode ser soldado, conforme o quadro 1.

Quadro 1 – Processo de soldagem

Processo de soldagem	Sigla
Soldagem com eletrodo revestido ou " <i>Shield Metal Arc Welding</i> "	SMAW
Soldagem com proteção gasosa ou " <i>Gas Metal Arc Welding</i> "	GMAW
Soldagem com fluxo no núcleo ou " <i>Flux Cored Arc Welding</i> "	FCAW
Soldagem a arco submerso ou " <i>Submerged Arc Welding</i> "	SAW

Fonte: NBR 8800/2008.

- a) Solda com Eletrodo Revestido (SMAW) – é um dos métodos mais antigos, simples e versáteis dos processos de soldagem. Este processo é realizado com o calor de um arco elétrico mantido entre duas partes metálicas, que possui uma camada de revestimento, onde uma parte se transforma em gás e outra parte em escória. O calor produzido pelo arco elétrico é o suficiente para unir o metal de base, a alma do eletrodo e o revestimento. Sendo assim, a escória líquida flutua em direção à superfície de fusão, onde reveste o metal de solda durante a solidificação. Os eletrodos são vendidos em varetas. Este conceito pode ser observado na figura 7.

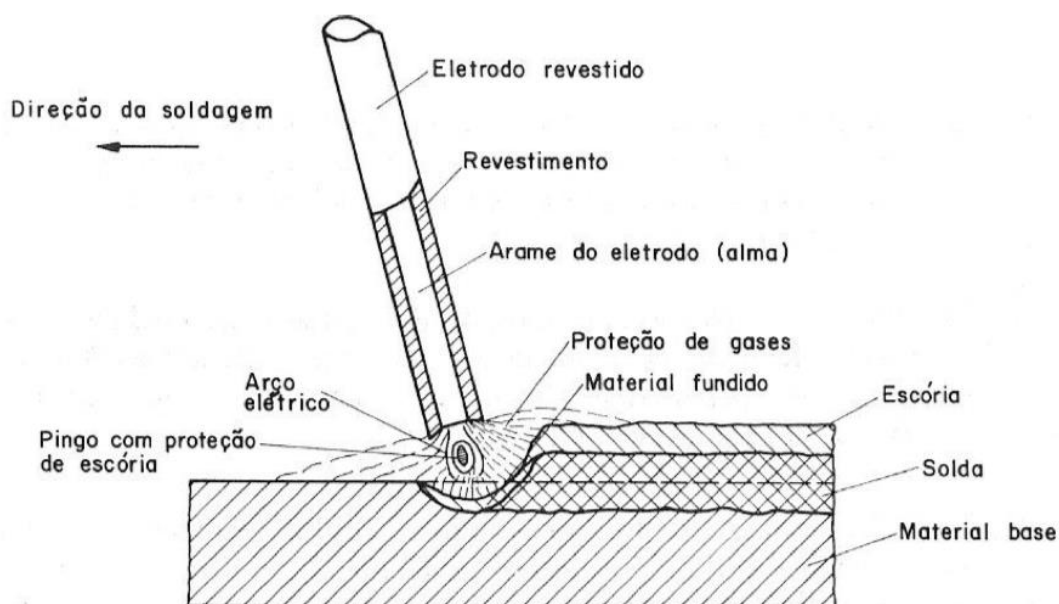


Figura 7 - Modelo de solda (SMAW).
Fonte: ESAB (2018)

No quadro 2 são relacionadas as vantagens e as desvantagens das ligações soldadas através do processo de solda com eletrodo revestido.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens das ligações soldadas SMAW.

Vantagens	Desvantagens
Processo de soldagem de baixo investimento;	Baixa produtividade;
Não há necessidade de suprimento de gases;	
Equipamentos podem ser usados também para outros processos;	Necessidade de cuidados especiais com os eletrodos;
Grande variedade de consumíveis;	Volume de gases e fumos gerados no processo.
Flexibilidade de aplicação.	

Fonte: Adaptado de ESAB (2018).

- b) Solda com Arco Submerso (SAW) – é um método onde o fluxo é colocado, através de um tubo, automaticamente na junta. É fornecido em rolo e botado diretamente dentro do fluxo, pois seu arame não é revestido. Parte do fluxo se une, gerando uma camada de escória protetora, e as bordas da junta, juntamente com o eletrodo, se fundem, preenchendo a junta com o eletrodo, as bordas se fundem, preenchendo a junta de solda. O restante que não é fundido, é usado para a reutilização. Esse tipo de soldagem é realizado

com equipamentos automáticos ou semiautomáticos e, para que haja um aumento na produtividade, pode ser introduzido um arranjo com vários consumíveis. Na figura 8 é possível observar este conceito.

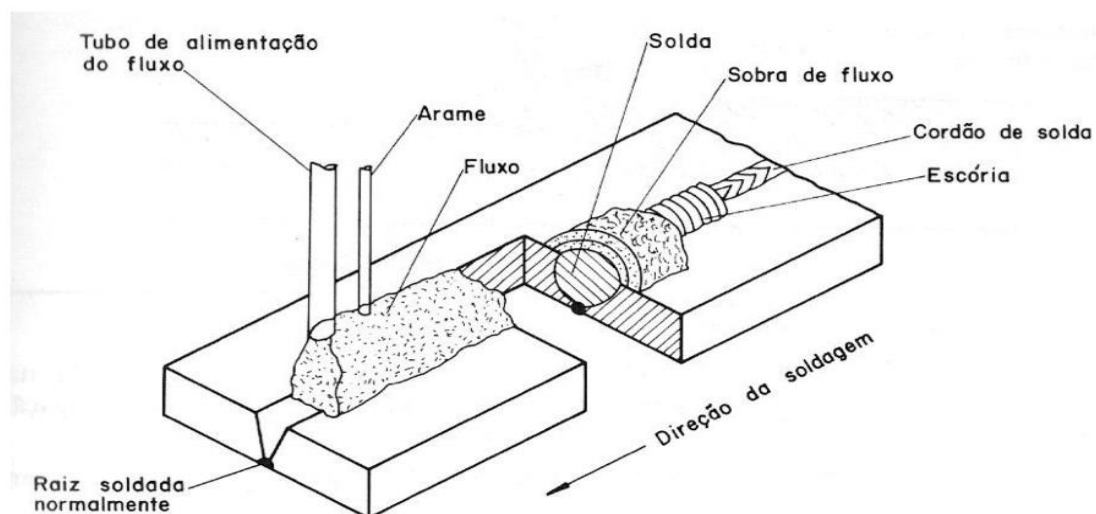


Figura 8 - Modelo de solda arco submerso.
Fonte: ESAB (2018).

No quadro 3 são relacionadas as vantagens e as desvantagens das ligações soldadas através do processo de solda arco submerso.

Quadro 3 – Modelo de solda arco submerso.

Vantagens	Desvantagens
Altas velocidades de soldagem;	Limitação de soldagem nas posições plana e horizontal;
Altas taxas de deposição;	Chapas de elevada espessura;
Boa exatidão do metal de solda;	
Processo de fácil uso;	Normalmente limitado a juntas em linha.
Melhor ambiente de trabalho e maior segurança para o operador uma vez que o arco está protegido pelo fluxo.	

Fonte: Adaptado de ESAB (2018).

- c) Solda com Proteção Gasosa (GMAW) – Nesse método o arame de solda é alimentado continuamente, nesse método é alimentado continuamente. Esses gases têm como função principal proteger a poça de fusão, isolando o contato com o ar. Nas estruturas metálicas, normalmente, é utilizado o gás carbônico,

por conta do seu baixo investimento. Esse gás é ativo em alta temperatura e usa-se gás inerte.

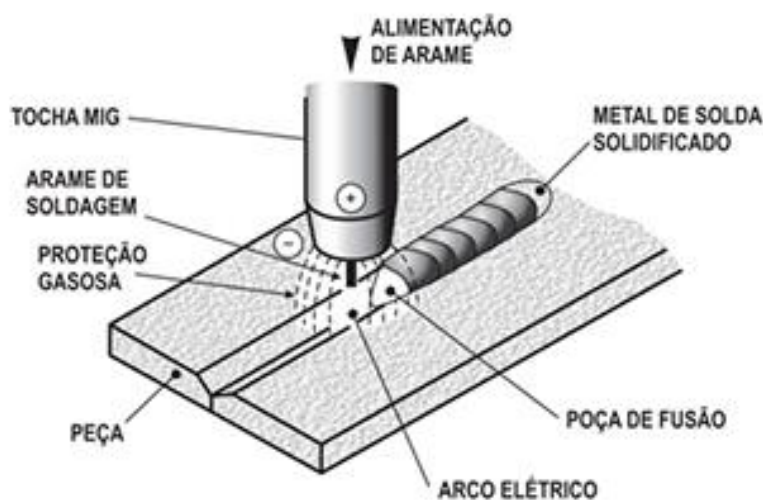


Figura 9 - Modelo de solda gasosa.
Fonte: ESAB (2018).

No quadro 4 são relacionadas as vantagens e as desvantagens das ligações soldadas através do processo de solda gasosa.

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens da solda gasosa.

Vantagens	Desvantagens
Produz soldas de qualidade superior, geralmente livres de defeitos, ótimas propriedades mecânicas e acabamento.	Taxas de deposição inferiores com processos de eletrodos consumíveis;
Está livre de respingos que ocorrem em outros processos a arco;	Há necessidade de maior destreza e coordenação do operador em relação ao SMAW e GMAW;
Permite excelente controle na penetração de passes de raiz;	É menos econômico que os processos de eletrodos consumíveis para espessuras a 10mm;
Pode produzir excelentes soldagem autógenas (sem adição) a altas velocidades;	Há dificuldade de manter a proteção em ambientes turbulentos;

Continua

Permite um controle preciso das variáveis da soldagem;	Pode haver inclusões de tungstênio, no caso de haver contato do mesmo com a poça de soldagem;
Solda praticamente todos os metais industrialmente;	Pode haver contaminação da solda se o metal de adição não for adequadamente protegido;
Permite um controle independente da fonte de calor e do material de adição;	Vazamento no sistema de refrigeração pode causar contaminação ou porosidade (sopro) ou deflexão do arco, como em outros processos.
O processo pode ser automatizado.	

Fonte: Adaptado de ESAB (2018).

- d) Solda com Arame Tubular (FCAW) – este processo tem bastante semelhança com o GMAW, seu diferencial é pelo fato de que em seu núcleo, o fluxo é feito com arame de solda tubular. Esse método tem sido bastante útil nas soldas em campo, devido suas condições baixas de temperaturas e por sua agilidade na execução. Possui uma função de revestimento do eletrodo, igualmente realizado na solda SMAW.

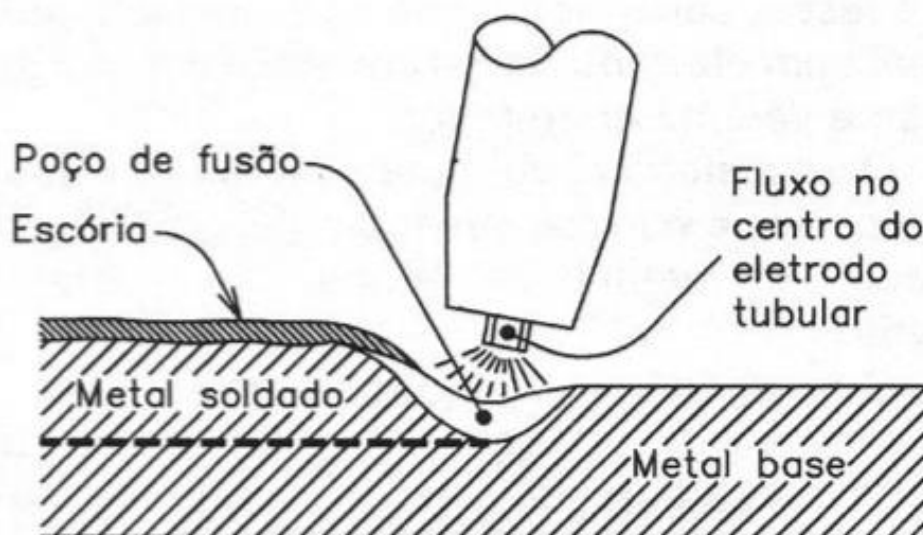


Figura 10 - Modelo de solda arame tubular.
Fonte: ESAB (2018)

No quadro 5 são relacionadas as vantagens e as desvantagens das ligações soldadas através do processo de solda de arame tubular.

Quadro 5 – Vantagens e desvantagens da solda arame tubular.

Vantagens	Desvantagens
Soldagem pode ser executada em todas as posições;	A alimentação irregular arame tubular;
Não é necessário gás de proteção no processo com arame, tornando-o adequado para a soldagem ao ar livre ou em condições de vento;	Porosidade - os gases não escapam da área soldada antes do metal solidificar, deixando buracos na solda;
Alta taxa de deposição do metal de solda;	
Alta velocidade de soldagem;	Material de enchimento caro fio em relação ao MIG / MAG;
Pré-limpeza de metal não é necessária;	
Benefícios metalúrgicos do fluxo, como o metal de solda sendo protegido inicialmente a partir de fatores externos, até o fluxo é lascado afastado;	Menos adequado para aplicações que requerem pintura.
Processo pode ser automatizado	

Fonte: Adaptado de ESAB (2018).

2.7.2.2 Tipos de Solda

A indústria metalúrgica utiliza vários tipos de solda para juntar materiais que possuem características semelhantes, podendo, assim, garantir uma boa qualidade na junção das peças em sua aplicação na fundação.

Os tipos de solda têm evoluído e se desenvolvido mediante as técnicas mais adequadas para cada tipo de união dos metais, dependendo do objetivo da montagem das peças e equipamentos.

Os tipos de solda mais comuns aplicados atualmente nas construções são a soldagem em filete, a soldagem de penetração e a soldagem de tampão.

2.7.2.2.1 Soldas de Filete

As soldas de filete são bastante utilizadas devido à sua economia, sua facilidade de execução e sua adaptabilidade. Na figura 11 é possível observar este tipo de solda.

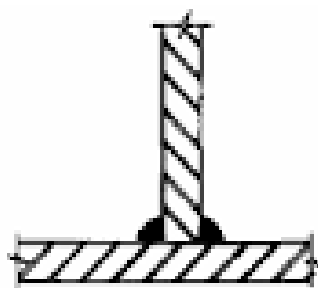


Figura 11 - Solda de filete.
Fonte: OLIVEIRA; SILVÉRIO; SILVA; GAMINO (2018).

Sua resistência foi dimensionada para aguentar, em sua área efetiva, as tensões de cisalhamento, com as seguintes dimensões conforme tabela 5:

Tabela 5 – Dimensões para solda de filete.

Menor espessura do metal-base na junta (mm)	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w ^a
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	8

^a Executadas somente com um passe.

Fonte: ESAB (2018).

O tamanho mínimo não poderá ser menor que quatro vezes o tamanho da sua dimensão nominal, isto é, não pode ser menos que 40 mm.

2.7.2.2 Soldas de Penetração

Este tipo de solda é utilizado para juntar duas placas alinhadas no mesmo plano. Elas podem ser divididas em penetração total, quando feita na espessura em toda base metal, ou penetração parcial, feita na espessura do material. Ela deve ser executada ao longo de toda largura das partes conectadas. Soldas intermitentes não são permitidas. Na figura 12 consta a solda de penetração total entre duas peças.

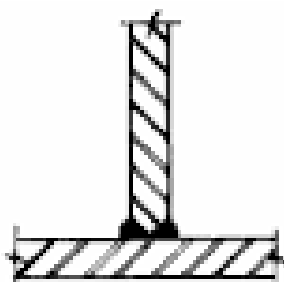


Figura 12 - Solda de penetração total.
Fonte: OLIVEIRA; SILVÉRIO; SILVA; GAMINO (2018).

Na figura 13 consta o conceito de solda de penetração parcial.

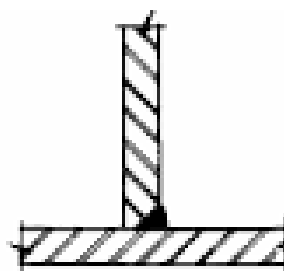


Figura 13 - Solda de penetração parcial.
Fonte: OLIVEIRA; SILVÉRIO; SILVA; GAMINO (2018).

A resistência não poderá, em nenhuma situação, ser maior do que a resistência da metal base na ligação, conforme a tabela 6.

Tabela 6 – Resistência de cálculo da solda de entalhe.

Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Resistências de cálculo ΦR_n
Soldas de entalhe de penetração total	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Mesma do metal base
	Tração normal à seção efetiva da solda	$R_n = A_w f_y$ e $\Phi = 0,90$
	Compressão normal à seção efetiva da solda	
	Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva	O menor dos dois valores: a) Metal base $R_n = 0,60 A_w f_y$ e $\Phi = 0,90$ b) Metal de solda $R_n = 0,6 A_w f_y$ e $\Phi = 0,75$

Fonte: NBR 8800 (2008).

As limitações a serem respeitadas nesse tipo de ligação constam na tabela 7.

Tabela 7 – Menor espessura do metal-base e mínima da garganta efetiva.

Menor espessura do metal-base na junta (mm)	Espessura mínima da garganta efetiva
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 d 152	16

^a Executadas somente com um passe.

Fonte: ESAB (2018).

2.7.2.2.3 Soldas de Tampão

Para que seja evitado o fenômeno conhecido por flambagem das ligações ou superposição das partes sobrepostas e seja ligado componentes de seção composta, é usado o método das soldas em tampão, seja em furos ou rasgo, para que seja

transmitido forças para essas superfícies. Sua execução é feita através de sobreposição das peças e conectadas pelos furos circulares ou rasgos em uma das partes. Dependendo da profundidade, pode ser preenchida por completo ou parcialmente por solda. A quantidade de carga suportada por esse tipo de ligação é dada pela tensão admissível na área do furo (ou rasgo). Não se deve colocar cargas de tração nesse tipo de ligação.

Na tabela 8 é indicada a resistência das soldas de tampão, onde:

Amb: área teórica da fase de fusão

Aw: área efetiva

fy: tensão de escoamento da menor base

fw: mínima resistência à tração

Tabela 8 – Resistência da solda tampão.

Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Resistências de cálculo ΦR_n
Soldas de tampão em furos ou rasgos	Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva	O menor dos dois valores: a) Metal base $R_n = 0,60 A_{MB} f_y$ e $\Phi = 0,90$ b) Metal da solda $R_n = 0,6 A_w f_y$ e $\Phi = 0,75$

Fonte: NBR 8800 (2008).

Existem algumas limitações que devem ser respeitadas nesse tipo de ligação, no quadro 6 estão listados algumas delas.

Quadro 6 – Diâmetro de furo.

O diâmetro dos furos para soldas de tampão em furos 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.	A espessura de soldas de tampão em furos ou rasgos situados em material de espessura igual ou inferior a 16 mm deve ser igual à espessura desse material. Quando a espessura desse material for maior que 16 mm, a espessura da solda deve ser no mínimo igual à metade da espessura do mesmo material, porém não inferior a 16 mm.
--	---

Continua

A distância de centro a centro de soldas de tampão em furos deve ser igual ou superior a 4 vezes o diâmetro do furo.	As extremidades dos rasgos devem ser de forma semicirculares, ou devem ter cantos arredondados de raio não inferior à espessura da parte que os contém, exceto aquelas extremidades que se estendem até a borda do elemento soldado.
O comprimento do rasgo para soldas de tampão em rasgos não pode ser maior que 10 vezes a espessura da solda.	A distância de centro a centro de rasgos situados linha, deve ser igual ou superior a 2 vezes o comprimento dos rasgos.
A largura dos rasgos 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.	O espaçamento entre as linhas de centro de rasgos, medido na direção transversal ao comprimento dos rasgos, deve ser igual ou superior a 4 vezes a largura do rasgo.

Fonte: NBR 8800/2008.

2.7.2.3 Posições de Soldagem

As posições de soldagem são divididas em quatro tipos, conforme mostrado na figura 14.

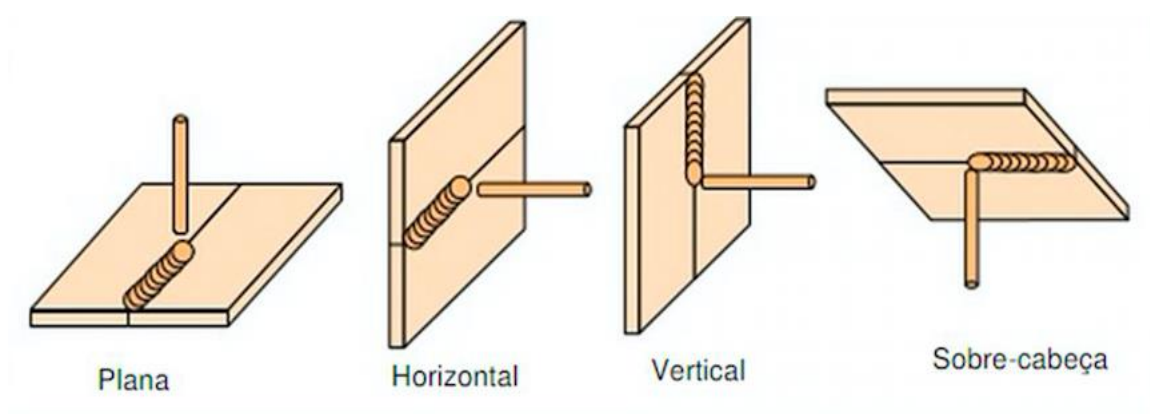


Figura 14 - Posições de soldagem.
Fonte: ESAB (2018).

As simbologias de soldagem são divididas em vinte principais tipos. De acordo com as figuras 15 e 16, é possível observá-las.

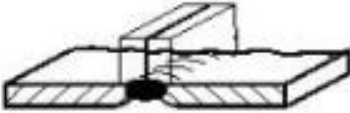



















	Designação	Ilustração	Símbolo
1	Junta de bordos rebordados completamente fundidos		
2	Junta de bordos direitos		
3	Junta em V simples		
4	Junta em meio V simples		
5	Junta em Y simples		
6	Junta em meio Y simples		
7	Junta em tulipa (ou em U)		
8	Junta em meio U (ou em J)		
9	Cordão de confirmação na raiz da junta		
10	Junta em ângulo		

Figura 15 - Simbologias.
Fonte: EESC-USP (2016).



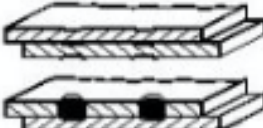

















	Designação	Ilustração	Símbolo
11	Soldadura em entalhe (ou perna de soldadura)		
12	Soldadura por pontos		
13	Soldadura em linha contínua		
14	Junta em V simples de bordos inclinados		
15	Junta em meio V simples de bordos inclinados		
16	Soldadura de bordo		
17	Enchimento		
18	Junta de superfície		
19	Junta inclinada		
20	Junta dobrada		

Figura 16 – Simbologias.
Fonte: EESC-USP (2016).

2.8 Elementos de Ligações

As ligações metálicas e suas estruturas, possuem uma série de características bem definidas, dentre elas sua ductibilidade, condutividade, maleabilidade e a sua alta resistência à tração. Elas podem ser compostas pela junção de dois ou mais metais, mas pode ser metais e não-metais também. Na construção temos muitos exemplos de ligações, classificadas entre flexíveis e rígidas (PFEIL E PFEIL, 2009).

2.8.1 Ligações Flexíveis com Cantoneiras – LCPP / LCSP

De acordo com o Manual de Ligações para Estruturas Metálicas da Gerdau (2018), este tipo de ligação é dividido em dois grupos, sendo eles de ligação com duas cantoneiras parafusadas nas duas abas (LCPP) e ligação com duas cantoneiras soldadas na viga apoiada e parafusadas no elemento suporte, sendo este, viga ou pilar (LCSP). Na figura 17 é possível observar estes conceitos.

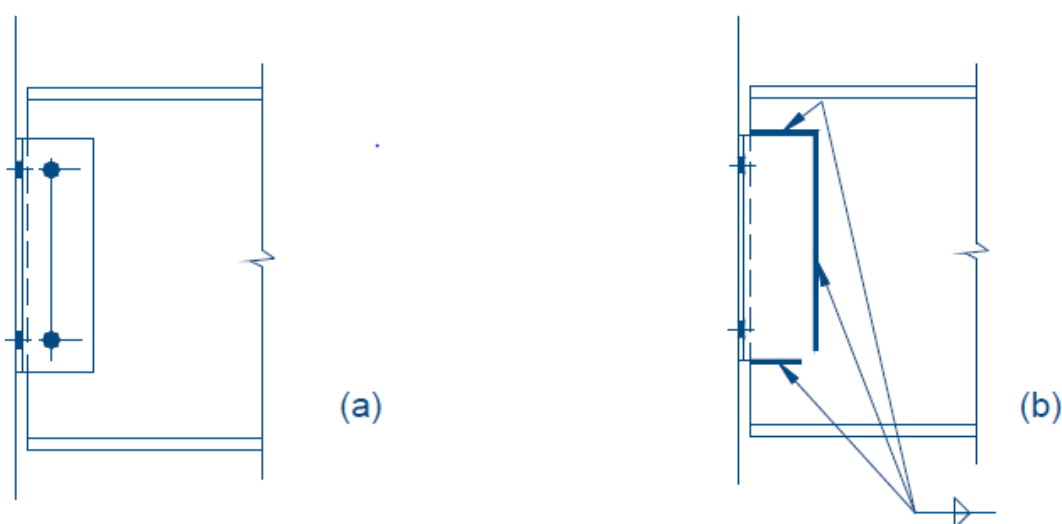


Figura 17 - Modelo de ligações com cantoneiras: (a) LCPP, (b) LCSP.
Fonte: Manual Gerdau (2018).

2.8.1.1 Sistemas Construtivos

De acordo com NBR 8800/2018, cada tipo de perfil tem estabelecida a quantidade de parafusos que são utilizados, visto que esta foi definida em conformidade com a altura da seção. Para isto, alguns critérios foram levados em consideração, sendo eles:

- a) O comprimento da cantoneira tem de ser estabelecido de maneira igual ou superior à metade da altura da seção da viga.
- b) A extensão que vai do furo superior até a face superior da viga necessita ser de valor igual ou inferior a extensão do furo inferior até a face inferior da viga.
- c) A distância da extremidade da viga apoiada até a face externa das cantoneiras deve ser de valor igual a 10 mm.

2.8.1.2 Valores Limites

Quando submetidas a esforços de compressão, peças esbeltas podem sofrer com encurvamento ao longo de seu comprimento, cujo este fenômeno é conhecido por flambagem. Para a verificação deste na alma da viga apoiada, na região da ligação, é necessário que o maior recorte no sentido horizontal seja de $L_{hmax} = 170$ mm.

A força normal de cálculo é tabelada (N_d) e é ponderada no centro da ligação. Com isso, produz um momento fletor na viga apoiada.

2.8.1.3 Formulário

Para o formulário destes tipos de ligações, onde são consideradas três circunstâncias:

- Viga sem recorte
- Viga com um recorte na mesa inferior
- Viga com dois recortes

De acordo com a NBR 8800/2008, foi estabelecido um formulário para o cálculo das ligações citadas acima.

1ª Situação: Sem força normal na viga apoiada, onde a resistência de cálculo da ligação à força cortante é o menor valor calculado, embasado nos seguintes itens:

- Cortante dos parafusos (NBR 8800/2008 – item 6.3.3.2)

$$F_{v,Rd} = \frac{2 \times 0,4 \times A_p \times f_{ub} \times N_p}{1,35}$$

Equação 1

- Esmagamento e rasgamento nas cantoneiras (NBR 8800/2008 – item 6.3.3.3)
 - Esmagamento sem rasgamento

$$F_{c,Rd} = \frac{2 \times 2,4 \times d \times t_c \times f_{uc} \times N_p}{1,35}$$

Equação 2

- Esmagamento com rasgamento entre dois furos ou um furo e uma borda

$$F_{c,Rd} = \frac{2 \times 1,2 \times l_f \times t_c \times f_{uc} \times N_p}{1,35}$$

Equação 3

- Esmagamento e rasgamento na alma da viga apoiada (NBR 8800/2008 – item 6.3.3.3)

- Esmagamento sem rasgamento

$$F_{c,Rd} = \frac{2,4 \times d \times t_w \times f_u \times N_p}{1,35}$$

Equação 4

- Esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e borda

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2 \times l_f \times t_w \times f_u \times N_p}{1,35}$$

Equação 5

- Cisalhamento da cantoneira (NBR 8800/2008 – item 6.5.5)

- Escoamento da seção bruta

$$F_{v,Rdc} = \frac{2 \times 0,6 \times L_c \times t_c \times f_{yc}}{1,1}$$

Equação 6

- Ruptura da seção líquida

$$F_{v,Rdc} = \frac{2 \times 0,6 \times [L_c - N_p (d_h + 0,2)] t_c \times f_{uc}}{1,35}$$

Equação 7

- Cisalhamento da alma da viga apoiada (NBR 8800/2008 – item 6.5.5)

- Viga sem recorte

- Escoamento da seção bruta

$$F_{v,Rdw} = \frac{0,6 \times H \times t_w \times f_y}{1,1}$$

Equação 8

- Ruptura da seção líquida

$$F_{v,Rdw} = \frac{0,6 [H - N_p (d_h + 0,2)] t_w x f_u}{1,35}$$

Equação 9

- Viga com um recorte

- Escoamento da seção bruta

$$F_{v,Rdw} = \frac{0,6 (H - L_v) t_w x f_u}{1,35}$$

Equação 10

- Ruptura da seção líquida

$$F_{v,Rdw} = \frac{0,6 [(H - L_v) - N_p (d_h + 0,2)] t_w x f_u}{1,35}$$

Equação 11

- Viga com dois recortes

- Escoamento da seção bruta

$$F_{v,Rdw} = \frac{0,6 (H - 2 x L_v) t_w x f_y}{1,1}$$

Equação 12

- Ruptura da seção líquida

$$F_{v,Rdw} = \frac{0,6 [(H - 2 L_v) - N_p (d_h + 0,2)] t_w x f_u}{1,35}$$

Equação 13

- Colapso por rasgamento das cantoneiras (*block shear*) (NBR 8800/2008 – item 6.5.6)

Considerando-se que nos casos de cálculo $0,6 \times f_{uc} \times A_{nvc}$ é sempre maior que $f_{uc} \times A_{ntc}$, temos que:

$$F_{r,Rdc} = \frac{2(0,6 \times A_{nvc} \times f_{uc} + A_{ntc} \times f_{uc})}{1,35} \leq \frac{2(0,6 \times A_{gvc} \times f_y + A_{ntc} \times f_{uc})}{1,35}$$

Equação 14

Sendo:

$$A_{gvc} = [(N_p - 1)s + e]t_c$$

$$A_{nvc} = A_{gvc} - (N_p - 0,5)(d_h + 0,2)t_c$$

$$A_{gtc} = [b_a - g]t_c$$

$$A_{ntc} = A_{gtc} - 0,5(d_h + 0,2)t_c$$

- Colapso por rasgamento da alma da viga apoiada (*block shear*) para vigas com recorte (NBR 8800/2008 – item 6.5.6)

Considerando-se que nos casos de cálculo $0,6 \times f_{uc} \times A_{nvw}$ é sempre maior que $f_{uc} \times A_{ntw}$, temos que:

$$F_{r,Rdw} = \frac{(0,6 \times A_{nvw} \times f_u + A_{ntw} \times f_{uc})}{1,35} \leq \frac{(0,6 \times A_{gvw} \times f_y + A_{ntw} \times f_u)}{1,35}$$

Equação 15

Sendo:

$$A_{gvw} = (L_c - 2e + y_a - L_v)t_w$$

$$A_{nvw} = A_{gvw} - (N_p - 0,5)(d_h + 0,2)t_w$$

$$A_{gtw} = (g - 1,0)t_w$$

$$A_{ntw} = A_{gtw} - 0,5(d_h + 0,2)t_w$$

- Início de escoamento da seção bruta devido à tensão normal decorrente da flexão no perfil recortado

- Viga com um recorte

$$F_{R,d} = \frac{f_y \times W_{xs}}{[(L_h + 1,0) \times 1,1]}$$

Equação 16

- Viga com dois recortes

$$F_{R,d} = \frac{f_y \times W_1}{[(L_h + 1,0) \times 1,1]}$$

Equação 17

- Flambagem local da alma da viga apoiada na região do recorte

Para vigas que possuem dois recortes, tem-se que:

- Para perfis W150, W200, W250 e W310 foi considerado o recorte com apenas 80mm.
- Para perfis W360, W410 e W530 foram considerados recortes de 80mm e 130mm.
- Para os perfis W610 foram considerados recortes de 80mm, 130mm e 170mm.

$$F_{R,d} = \frac{(\emptyset \times F_{bc} \times W_1)}{(L_h + 1,0)}$$

Equação 18

Onde:

$$\emptyset F_{bc} = 35060 \left[\frac{t_w^2}{L_h \times h_0} \right] \left[3,5 - 7,5 \left(\frac{L_v}{H} \right) \right]$$

Equação 19

$$h_0 = H - 2 \times L_v$$

Equação 20

Para o caso de vigas que possuem um recorte, tem-se a seguinte condição:

$$L_h \leq h_0$$

Equação 21

$$F_{R,d} = \frac{(\emptyset \times F_{bc} \times W_{xs})}{(L_h + 1,0)}$$

Equação 22

Sendo:

$$\emptyset F_{bc} = 16243 \left(\frac{t_w}{h_0} \right)^2 \times f \times k$$

$$h_0 = H - L_v$$

$$f = 2 \left(\frac{L_h}{H} \right)$$

$$K = 2,2 \times \left(\frac{h_0}{L_h} \right)^{1,65}$$

- Verificação da solda das cantoneiras

A determinação da resistência de soldas solicitada é feita através do método do centro instantâneo de rotação, como é possível observar na equação e é usada somente para LCSP:

- Ruptura da solda

$$F_{w,Rd} = c \frac{b \text{ (solda)}}{0,15876} \times \frac{L_c}{2,54} \times 4,54 \times 2,00 \times 0,75$$

Equação 23

- Escoamento do metal base junto à solda

$$F_{w,Rd} = c \frac{b \text{ (solda)}}{0,15876} \times \frac{L_c}{2,54} \times 4,54 \times 2,00 \times 0,8748 \times 0,75$$

Equação 24

2ª Situação: Com força normal na viga apoiada

Considerando a determinação de N_d com metade de V_d .

De início, deve-se considerar um esforço cortante de cálculo que equivale a 50% do valor de V_d , que é obtido na primeira situação e, por conseguinte determina-se o valor de N_d .

Admite-se uma parte central da espessura t_c de cada cantoneira que é destinada particularmente à força cortante de cálculo V_d , mantendo a parte restante da espessura destinada a resistir somente aos efeitos da força normal da viga apoiada.

$$V_z = \frac{Q}{2 \times L_c}$$

Equação 25

Onde o valor de Q equivale a 50% do valor máximo da força cortante a qual a ligação resiste, que é obtida na primeira situação.

$$t'_c = \frac{V_z}{(0,54 \times f_{yc})}$$

Equação 26

$$(V_o)_x = 0,54 \times f_{yc} \times (t_c - t'_c)$$

Equação 27

$$(M_o)_z = 0,225 \times f_{yc} \times (t_c - t'_c) \times (t_c + t'_c)$$

Equação 28

$$(M)_z = \frac{[(V)_x (g - t_c - R)]}{2}$$

Equação 29

Atendendo à equação de interação de Druncker, tem-se que:

$$\frac{(M)_z}{(M_o)_z} + \left[\frac{(V)_x}{(V_o)_x} \right]^4 = 1$$

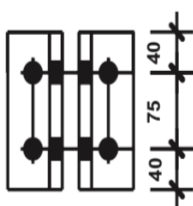
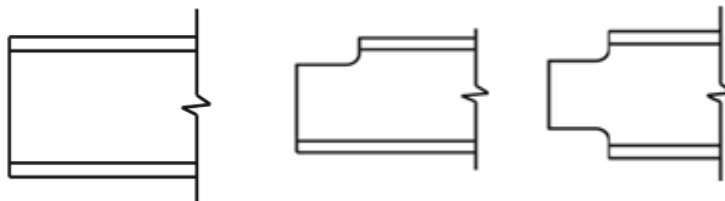
Equação 30

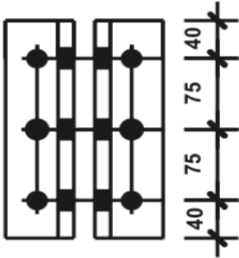
$$N_d = L_c \times 2 (V)_x$$

Equação 31

Tabela 9 – Ligações flexíveis com cantoneiras - LCPP

LCPP							
<p>NOTAS:</p> <p>1 - Dimensões em mm.</p> <p>2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008.</p> <p>3 - Verificar obrigatoriamente o elemento suporte.</p> <p>4 - As vigas devem ser verificadas à flambagem lateral considerando obrigatoriamente os recortes na região da ligação.</p>				Vd (kN)			
				Sem recortes	Lh (max)		
n	Perfis	Nd(kN)	Sem recortes	80	130	170	80
1	W 310 x 21,0	0 39	155 78	142 -	142 -	142 -	142 -
	W 310 x 23,8	0 38	170 85	155 -	155 -	155 -	155 -
	W 310 x 28,3	0 38	183 91	163 -	163 -	163 -	163 -
	W 310 x 32,7	0 37	201 100	177 -	177 -	177 -	177 -
	W 310 x 38,7	0 38	177 88	157 -	157 -	157 -	157 -
	W 310 x 44,5	0 37	201 100	176 -	176 -	176 -	176 -
	W 310 x 52,0	0 34	231 116	200 -	200 -	200 -	200 -
	W 310 x 60,0	0 35	228 114	197 -	197 -	197 -	197 -
	W 310 x 67,0	0 34	234 117	221 -	221 -	221 -	221 -
	W 310 x 74,0	0 34	234 117	234 -	234 -	234 -	234 -



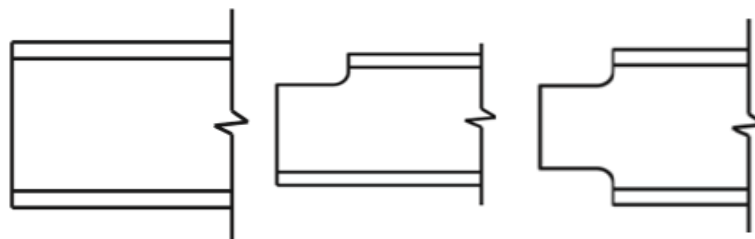
	W 310 x 21,0	0 58	233 116	195 -	195 -	163 -	176 -
	W 310 x 23,8	0 57	256 128	213 -	213 -	190 -	195 -
	W 310 x 28,3	0 56	274 137	225 -	225 -	214 -	214 -
	W 310 x 32,7	0 54	301 151	245 -	245 -	243 -	240 -
	W 310 x 38,7	0 56	265 132	217 -	217 -	217 -	208 -
	W 310 x 44,5	0 54	301 151	245 -	245 -	245 -	240 -
	W 310 x 52,0	0 52	339 169	279 -	279 -	279 -	279 -
	W 310 x 60,0	0 52	339 169	275 -	275 -	260 -	258 -
	W 310 x 67,0	0 52	339 169	310 -	310 -	298 -	298 -
W 310 x 74,0	0 52	339 169	339 -	339 -	336 -	337 -	

Fonte: Gerdau (2017).

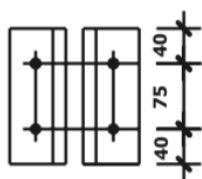
Tabela 10 – Ligações flexíveis com cantoneiras.

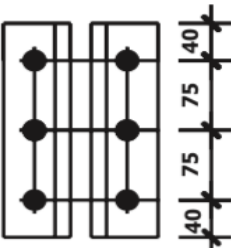
NOTAS:

- 1 - Dimensões em mm.
- 2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008.
- 3 - Verificar obrigatoriamente o elemento suporte.
- 4 - As vigas devem ser verificadas à flambagem lateral considerando obrigatoriamente os recortes na região da ligação.

LCSP**Vd (kN)**

n	Perfis	Nd(kN)	Sem recortes	Lh (max)			Lh (max)
				80	130	170	80
1	W 310 x 21,0	0	234	166	166	163	166
		34	117	-	-	-	-
	W 310 x 23,8	0	234	181	181	181	181
		34	117	-	-	-	-
	W 310 x 28,3	0	234	192	192	192	192
		34	117	-	-	-	-
	W 310 x 32,7	0	234	210	210	210	210
		34	117	-	-	-	-
	W 310 x 38,7	0	234	185	185	185	185
		34	117	-	-	-	-
W 310 x 44,5	0	234	209	209	209	209	
	34	117	-	-	-	-	
W 310 x 52,0	0	234	234	234	234	234	
	34	117	-	-	-	-	
W 310 x 60,0	0	234	234	234	234	234	
	34	117	-	-	-	-	
W 310 x 67,0	0	234	234	234	234	234	
	34	117	-	-	-	-	
W 310 x 74,0	0	234	234	234	234	234	
	34	117	-	-	-	-	



2		W 310 x	0	244	226	218	163	208
		21,0	52	122	-	-	-	-
		W 310 x	0	329	247	244	190	232
		23,8	52	164	-	-	-	-
		W 310 x	0	339	262	262	214	256
		28,3	52	169	-	-	-	-
		W 310 x	0	339	287	287	243	287
		32,7	52	169	-	-	-	-
		W 310 x	0	339	253	253	227	249
		38,7	52	169	-	-	-	-
W 310 x	0	339	286	286	262	286		
44,5	52	169	-	-	-	-		
W 310 x	0	339	327	327	308	327		
52,0	52	169	-	-	-	-		
W 310 x	0	339	323	323	260	306		
60,0	52	169	-	-	-	-		
W 310 x	0	339	339	339	298	339		
67,0	52	169	-	-	-	-		
W 310 x	0	339	339	339	339	339		
74,0	52	169	-	-	-	-		

Fonte: Gerdau (2017).

2.8.2 Ligações Rígidas Soldadas Simétricas - LMSS

Segundo o Manual de Ligações para Estruturas Metálicas da Gerdau (2018), essa ligação é composta, na alma, pela ligação parafusada com chapa simples e na mesa com uma ligação soldada com penetração total. É uma ligação bastante utilizada devido a sua facilidade na montagem e seu custo reduzido. Na figura 18 é possível visualizar o conceito dessa ligação.

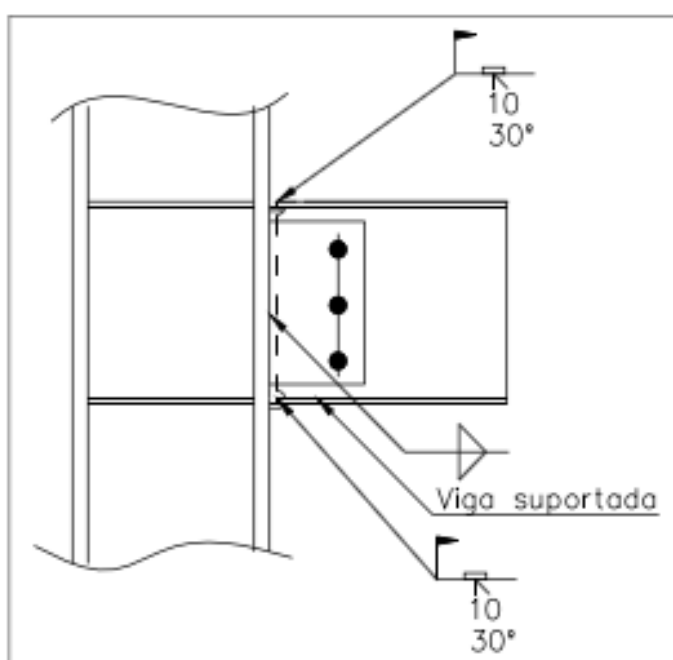


Figura 18 - Modelo de ligação rígida soldadas simétricas.
Fonte: CBCA (2017).

2.8.2.1 Sistemas Construtivos

De acordo com o Manual da Gerdau (2018, p. 95), “em todos os casos existe uma folga de 10 mm entre a viga e a face do elemento suporte para não impedir a rotação de apoio”.

2.8.2.2 Valores Limites

Foram adotadas algumas limitações, para garantir o comportamento esperado da ligação e sua flexibilidade (NBR 8800, 2008):

- Sempre que possível, a altura da chapa simples deve ser maior que o dobro da distância entre a linha de solda e a linha de parafusos.
- A chapa simples deve ter uma espessura igual ou superior a 6,3 mm quando o número de parafusos for entre 2 a 5 e igual ou superior a 8 mm quando for 6 parafusos.
- A espessura da chapa não deve exceder a metade do diâmetro do parafuso colocada com mais de 2 mm.
- Para que sua flambagem seja evitada, a espessura deve ser no mínimo igual a 6,3 mm ou a altura da chapa dividida por 64, o que for maior.

2.8.2.3 Formulário

No formulário para este tipo de ligação, é verificado em três tipos de cálculo:

- Resistência do perfil ao momento fletor;
- Resistência das soldas das mesas;
- Verificação da ligação da alma com chapa simples.

De acordo com a NBR 8800/2008, foi estabelecido um formulário para o cálculo das resistências e a verificação das mesmas citadas acima.

- Resistência ao momento fletor (NBR 8800/2008 – item 5.4.2)

Caso 1 $N_d = 0, M_d, V_d$

Equação 32

$$\text{Caso 2 } M_d = 0,80 M_{dmax}, N_d = \frac{0,20 M_{dmax}}{(H-t_f)} \times 2, V_d$$

Equação 33

Adotar o menor dos valores abaixo:

$$\text{a) } M_d \leq \frac{Z_x \times f_y}{1,1}$$

Equação 34

$$\text{b) } M_d \leq 1,50 \times \frac{W \times f_y}{1,1}$$

Equação 35

- Resistência das soldas das mesas

Considerando que as soldas das mesas da viga com a coluna são de penetração total, é desnecessária a verificação, uma vez que o Perfil já foi dimensionado.

- Verificação da ligação da alma com chapa simples

Caso 1: Sem força normal na viga apoiada

- Corte dos parafusos (NBR 8800/2008 – item 6.3.3.2)

$$F_{v,Rd} = \frac{0,40 \times A_b \times f_{ub} \times c}{1,35}$$

Equação 36

Para parafusos de 3/4", 7/8" e 1", tem-se:

$$N_p = 2, c = 0,8$$

$$N_p = 3, c = 1,75$$

$$N_p = 4, c = 2,81$$

$$N_p = 5, c = 3,90$$

$$N_p = 6, c = 4,98$$

Para parafusos de 5/8", $c = 0,74$

- Esmagamento na chapa (NBR 8800/2008 – item 6.3.3.3)
 - Esmagamento sem rasgamento

$$F_{c,Rd} \leq \frac{2,4 \times d_b \times t_c \times f_{uc} \times c}{1,35}$$

Equação 37

- Esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e a borda livre

$$F_{c,Rd} \leq \frac{1,2 \times l_f \times t_c \times f_{uc} \times c}{1,35}$$

Equação 38

- Esmagamento na alma da viga (NBR 8800/2008 – item 6.3.3.3)
 - Esmagamento sem rasgamento

$$F_{c,Rd} \leq \frac{2,4 \times d_b \times t_w \times f_{uw} \times c}{1,35}$$

Equação 39

- Esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e a borda livre

$$F_{c,Rd} \leq \frac{1,2 \times l_f \times t_w \times f_{uw} \times c}{1,35}$$

Equação 40

- Colapso por rasgamento da chapa – desprezando o efeito da excentricidade (NBR 8800/2008 – item 6.5.6)

$$F_{r,Rd} \leq \frac{0,6 \times A_{nvc} \times f_{uc} + A_{ntc} \times f_{uc}}{1,35}$$

Equação 41

em que:

$$A_{gvc} = [(N_p - 1) \times s + e] \times t_c$$

$$A_{nvc} = A_{gvc} - (N_p - 0,5) \times (d_n + 0,2) \times t_c$$

$$A_{gtc} = (b - g) \times t_c$$

$$A_{ntc} = A_{gtc} - 0,5 (d_n + 0,2) \times t_c$$

- Colapso por rasgamento da alma do Perfil – desprezando o efeito da excentricidade (NBR 8800/2008 – item 6.5.6)

$$F_{r,Rd} = \frac{0,6 \times A_{nvw} \times f_{uw} + A_{ntw} \times f_{uw}}{1,35} \leq \frac{0,6 \times A_{gvw} \times f_{yw} + A_{ntw} \times f_{uw}}{1,35}$$

Equação 42

em que:

$$A_{gvw} = [(N_p - 1) \times s] \times t_w$$

$$A_{nvw} = A_{gvw} - (N_p - 1) \times (d_h + 0,2) \times t_w$$

$$A_{gtw} = (g - 1) \times 2t_w$$

$$A_{ntw} = A_{gtw} - (d_h + 0,2) \times t_w$$

- Cisalhamento da chapa (NBR 8800/2008 – item 6.5.5)

- escoamento da seção bruta

$$F_{v,Rdc} \leq \frac{0,6 \times L_c \times t_c \times f_{yc}}{1,1}$$

Equação 43

- Ruptura da seção líquida

$$F_{v,Rdc} \leq \frac{0,6 \times f_{uc} \times [L_c - N_p (d_h + 0,2)] \times t_c}{1,35}$$

Equação 44

- Cisalhamento da alma do Perfil (NBR 8800/2008 – item 6.5.5)

- escoamento da seção bruta

$$F_{v,Rdw} \leq \frac{0,6 \times H \times t_w \times f_{yw}}{1,1}$$

Equação 45

- Ruptura da seção líquida

$$F_{v,Rdw} \leq \frac{0,6 \times f_u \times [H - N_p (d_h + 0,2)] \times t_w}{1,35}$$

Equação 46

- Tensão normal na chapa
 - Início de escoamento da seção bruta

$$F_{n,Rdc} \leq \frac{f_{yc} \times w_{xc}}{1,1 e_c}$$

Equação 47

- Ruptura da seção líquida

$$F_{n,Rdc} \leq \frac{f_{uc} \times w_{ef}}{1,35 e_c}$$

Equação 48

- Escoamento do metal base junto a solda (NBR 8800/2008 – item 6.2.5.1 – tabela 8)

$$F_{n,Rdc} \leq c (b/0,159) \times (L_c/2,54) \times 4,54 \times 0,87 \times 0,75$$

Equação 49

- Flambagem local da chapa

$$t_c \geq \frac{L_c}{64} \geq 6,3$$

Equação 50

$t_{cmin} = 6,3$ mm para situações com número de parafusos entre 2 e 5

$t_{cmin} = 8,0$ mm para situações com número de parafusos igual a 6
 $t_{cmax} \leq db/2 + 0,2$

Caso 2: Com carga normal na viga apoiada

$$V_d = 0,5 \times V_{dmax}$$

Equação 51

- Determinação de N_d com 50% de V_d

Adota-se

$$N_d = 25\% \times V_{dmax}$$

Equação 52

- Verificação da chapa
 - escoamento da seção bruta

$$F_{n,Rdc} \leq \left(\frac{f_{yc}}{1,1} - \frac{V_d \times e_c}{W_{xc}} \right) \times L_c \times t_c$$

Equação 53

- Ruptura da seção líquida

$$F_{n,Rdc} \leq \left(\frac{f_{uc}}{1,35} - \frac{V_d \times e_c}{W_{xc}} \right) \times [L_c - N_p(d_h + 0,2)] \times t_c$$

Equação 54

- Solda (NBR 8800/2008 – item 6.2.5.1 – tabela 8)

Considera-se, do lado da segurança, 50% da resistência da solda para V_d e 50% para N_d

$$F_{V,sd} \leq c (b / 0,159) (L_c / 2,54) 4,54 \times 0,87 \times 0,5$$

Equação 55

$$F_{t,Rd} \leq 0,9 \times 0,6 \times 2 \times f_{yc} L_c b \times 0,5$$

Equação 56

Tabela 11 – Ligações rígidas soldadas simétricas - LMSS

Perfis	Nd(kN)	Md (kNm)	Vd (kN)
W 310 x 21,0	0 125	93 74	120
W 310 x 23,8	0 142	106 85	120
W 310 x 28,3	0 175	131 105	120
W 310 x 32,7	0 204	154 124	120
W 310 x 38,7	0 261	196 157	120
W 310 x 44,5	0 301	227 181	120
W 310 x 52,0	0 353	268 214	120
W 310 x 60,0	0 415	300 240	120
W 310 x 67,0	0 467	337 270	120
W 310 x 74,0	0 517	379 303	120

NOTAS: 1 - Dimensões em mm.

2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008.

3 - Verificar obrigatoriamente o elemento suporte.

Fonte: Gerdau (2017)

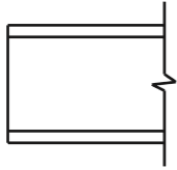
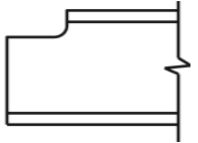
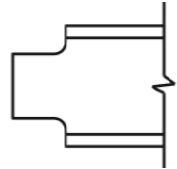
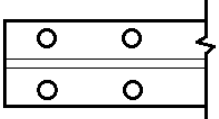
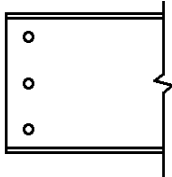
3 ESTUDO ANALÍTICO

As ligações entre os elementos estruturais requerem um tempo de execução significativo, podendo variar com local, equipamentos e processos de montagem. Geralmente uma edificação em estrutura de aço apresenta diversos pontos de conexões, demandando um tempo para realizá-las, isso tanto na obra quanto no campo, o que torna este estudo relevante no ponto de vista do prazo da construção.

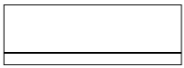

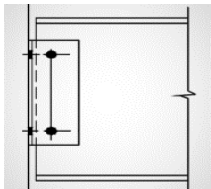
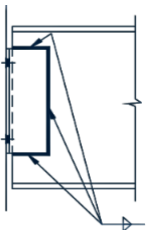
Para realizar esse estudo foram feitas visitas em duas empresas que prestam serviços de fabricação e montagem de estruturas metálicas no interior do Rio de Janeiro, sendo que um realiza o processo na fábrica e a outra diretamente no canteiro. Com base nos dados levantados nas visitas, foram elaboradas duas tabelas com o tempo de execução das ligações LCPP, LCSP e LMSS na fábrica e no canteiro de obra com o Perfil laminado W310 da Gerdau.

Nos dados apresentados na tabela 12 (Ligações flexível com cantoneiras – LCPP e LCSP) e na tabela 13 (Ligações rígidas soldada simétrica – LMSS).

Tabela 12 – Tempo de execução das ligações flexíveis com cantoneiras.

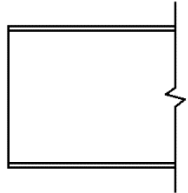
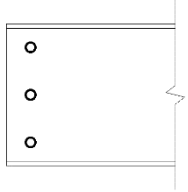
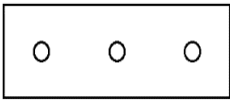
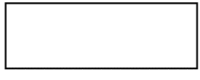
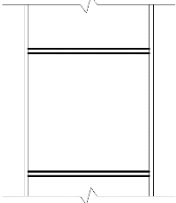
LIGAÇÕES FLEXÍVEIS COM CANTONEIRAS LCPP/LCSP							
ITEM	DETALHAMENTO		MONTAGEM NA FÁBRICA		MONTAGEM NA OBRA		
			TEMPO (MIN)	OBSERVAÇÕES	TEMPO (MIN)	OBSERVAÇÕES	
1	CORTE DA PEÇA	SIMPLES		00:01:50	Corte realizado no Perfil W310 com a utilização do equipamento CFC-101 (calfran) que realiza o corte e furação dos parafusos.	00:25:00	Corte realizado no Perfil W310 com a utilização do equipamento maçarico, que realiza o corte.
2		UMA ABA		00:07:05	Após o corte na CFC-101 (Calfran), é realizado o corte na aba com o maçarico e acabamento com lixadeira.	00:40:00	Após o corte, é realizado o corte na aba com o mesmo maçarico e acabamento com lixadeira.
3		DUAS ABAS		00:15:00		00:50:00	
4	FURAÇÃO DA PEÇA	MESA		0:02:30	Foram realizados quatros furos com gabarito e diâmetro no mesmo padrão.	00:30:00	Caso haja problema no nível do local e os furos pré-moldados na fábrica não se encaixem, é realizado diretamente na obra os furos através do gabarito com o mesmo diâmetro para todos os furos.
5		ALMA		0:02:35	Foram realizados três furos com o equipamento CFC-101 (calfran).	00:30:00	

Continua

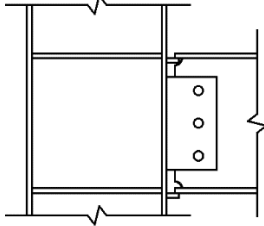
6	CANTONEIRA	CORTE		00:03:25	O corte é realizado no Perfil W310, com a utilização do equipamento CFC-101 (calfran), que realiza o corte e furação dos parafusos. Seis furos com padrão no gabarito e diâmetro.	00:10:00	O corte é realizado no Perfil W310, com a utilização do equipamento maçarico que realiza o corte, e gabarito que realiza furação dos parafusos. Seis furos com padrão no gabarito e diâmetro.
7		FURAÇÃO					
8	MONTAGEM DAS LIGAÇÕES	LCPP		00:18:00	Processo de montagem é realizado na obra, a cantoneira é parafusada no pilar e depois na viga.	02:00:00	Processo de montagem é realizado na obra, a cantoneira é parafusada no pilar e depois na viga.
9		LCSP		00:30:00	Primeiro a cantoneira é soldada na alma da viga na fábrica, e depois no canteiro para ser parafusada no pilar.	02:00:00	Primeiro a cantoneira é soldada na alma da viga com maçarico, e depois parafusada no pilar.
<p>VERIFICAÇÃO DE CÁLCULO (NBR:8800, 2008): LCPP - Corte dos parafusos; Esmagamento e rasgamento nas cantoneiras; Cisalhamento na alma da viga apoiada; Cisalhamento da cantoneira; Colapso por rasgamento das cantoneiras; Colapso por rasgamento da alma da viga apoiada para vigas com recorte; flambagem local da alma da viga apoiada na região do recorte. LCSP - Corte dos parafusos; Esmagamento e rasgamento na chapa de extremidade; Cisalhamento da chapa de extremidade; Cisalhamento da chapa da viga apoiada; Flexão da chapa de extremidade e verificação da solda.</p> <p>NOTA: LCPP - Ligação com duas cantoneiras parafusadas nas duas abas; LCSP - Ligação com duas cantoneiras soldadas na viga apoiada e parafusadas no elemento suporte, viga ou pilar (Cap.3, Gerdau, 2018)</p>							

Fonte: Autores (2019)

Tabela 13 – Tempo de execução das ligações rígidas soldadas simétricas.

LIGAÇÕES RÍGIDAS SOLDADAS SIMÉTRICAS - LMSS						
ITEM	DETALHAMENTO		MONTAGEM NA FÁBRICA		MONTAGEM NA OBRA	
			TEMPO (MIN)	OBSERVAÇÕES	TEMPO (MIN)	OBSERVAÇÕES
1	CORTE DA PEÇA		00:01:50	Corte é realizado no Perfil W310 conforme o vão solicitado no projeto, com a utilização do equipamento CFC-101 (calfran) que realiza o corte e furação do parafusos.	00:25:00	Corte é realizado no Perfil W310 conforme o vão solicitado no projeto, com a utilização do equipamento maçarico, que realiza o corte.
2	FURAÇÃO DA PEÇA (ALMA)		0:02:35	Foram realizados três furos com o equipamento CFC-101 (calfran).	00:30:00	Foram realizados três furos com o equipamento gabarito.
3	CHAPA SIMPLES CORTE/FURAÇÃO		00:01:35	Corte e parafusagem realizado na chapa, com a UNIPlasma.	00:50:00	Corte realizado com o maçarico e parafusagem realizado com gabarito, na chapa.
4	ALMA CORTE		00:01:00	Corte realizado na chapa, com a UNIPlasma.	00:20:00	Corte realizado na chapa, com maçarico.
5	ENRIJEDEDOR SOLDAGEM		00:03:00	Ponteamento e soldagem.	00:15:00	Ponteamento e soldagem.

Continua

6	MONTAGEM		00:45:00	Após a soldagem da chapa na fábrica, a parafusagem da viga é realizada no canteiro de obra.	03:00:00	A soldagem da chapa, juntamente com a parafusagem da viga, é realizada diretamente na obra.
VERIFICAÇÃO DE CÁLCULO (NBR 8800, 2008): Resistência ao momento fletor; Tração nos parafusos; Flexão da chapa de cabeça do perfil; Verificação das soldas das mesas; Verificação das soldas das mesas; Verificação das soldas da alma; Corte dos parafusos; Corte combinado com tração nos parafusos.						
NOTA: CAPÍTULO 7 - GERDAU, 2018 Fonte: Autores (2019).						

Os processos dessas ligações em fábrica, consiste na furação e corte do perfil e das cantoneiras foram realizados com o equipamento CFC-101(Carfan) (item 1 e 2 – tabela 13; item 1,4,5,6 e 7 – tabela 12), como é possível observar na figura 19, com o tempo estimado de cada material, tendo em vista que o gabarito e diâmetro foram padronizados. Já o maçarico e a lixadeira foram utilizados para o acabamento (item 2 e 3 – tabela 13), como representado na figura 20.



Figura 19 - Corte do perfil.
 Fonte: Autores (2019).



Figura 20 - Corte das abas.
Fonte: Autores (2019).

Na chapa simples e no enrijecedor (item 3 e 4, respectivamente - tabela 13), o corte e a furação foram feitos com a máquina corte plasma, modelo UNIPlasma. Com o tempo de 1,35 minutos, conforme apresentado na figura 21.



Figura 21 - Máquina de corte plasma - UNIPlasma.
Fonte: Autores (2019).

No processo final de montagem das ligações LCPP (item 8 - tabela 12), as duas abas das cantoneiras são parafusadas no canteiro de obras e as LCSP (item 9 - tabela 12), uma aba é soldada na alma da viga na fábrica e outra parafusada na mesa do elemento (pilar ou viga) no canteiro de obras. Nas figuras 22 e 23 é possível observar estes conceitos.



Figura 22 - Ligação flexível com cantoneira – LCPP
Fonte: Autores (2019).



Figura 23 - Ligação flexível com cantoneira - LCPP.
Fonte: Autores (2019).

Já para montagem das ligações da tabela 13, os enrijecedores e a chapa simples são soldados na fábrica e depois as vigas são parafusadas no canteiro (figura 24).



Figura 24 - Ligação rígida soldada.
Fonte: Autores (2019).

Os processos de montagem no canteiro de obras, os cortes são feitos pelo maçarico (itens de 1 a 6 – tabela 12 e itens 1,3 e 4 – tabela 13), no tempo de 25 minutos, como é possível observar na figura 25.



Figura 25 - Corte no maçarico.
Fonte: Pinterest (2017).

Para realizar a furação (itens 4,5 e 7 - tabela 9 e itens 2 e 3 - tabela 13) foram feitos três furos com o mesmo padrão, no tempo de 30 minutos, através do gabarito, conforme figura 26.



Figura 26 - Furação com o maçarico.
Fonte: Autores (2019).

No processo final de montagem das ligações LCPP e LCSP (itens 8 e 9 - tabela 12) no canteiro de obras, demora em torno de 2 horas, devido ao espaço e equipamentos de baixa potência. Isto pode ser observado nas figuras 27 e 28.



Figura 27 - Ligação LCPP realizada no canteiro de obras.
Fonte: Autores (2019).



Figura 28 - Ligação LCSP realizada no canteiro de obras.
Fonte: Autores (2019).

A montagem final (item 6 - tabela 13) se inicia pelo ponteamento de solda no enrijecedor de alma e na chapa simples na mesa do pilar, conforme figura 29, depois é realizada a parafusagem da viga no pilar, como é possível observar na figura 30, levando três horas para ser finalizado.



Figura 29 - Ponteamento de solda no enrijecedor na alma.
Fonte: Autores (2019).



Figura 30 - Ligação rígida - LMSS.
Fonte: Guia da Engenharia (2019)

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos por essa análise, pode-se concluir que a confecção das ligações feitas diretamente na fábrica tem seu tempo de execução menor do que quando realizado diretamente no canteiro de obras.

Para realizar a montagem das ligações flexíveis com cantoneiras diretamente na obra levou-se, em média, duas horas de execução, gastando assim uma hora e meia a mais do que se leva para realizar o mesmo procedimento na fábrica. Já as ligações rígidas soldadas simétricas demoraram três horas para ser realizada no canteiro e apenas quarenta e cinco minutos na fábrica.

Em ambos os casos, consegue-se atingir as exigências vigentes na norma NBR – 8800/2008, quanto ao seu aspecto de resistência ao tipo de soldagem e parafusagem realizada.

No cenário apresentado, para que seja feita a construção de um prédio residencial, após analisar os dados obtidos na fábrica e no canteiro de obras, ficou claro que a fabricação das ligações diretamente na obra demanda mais tempo, espaço no canteiro e também depende do fator climático, visto que em dias de chuva não é possível a realização de tal procedimento. Porém, quando é realizada diretamente na fábrica, seu tempo de execução é mais rápido e evita o desperdício de material, uma vez que sua precisão é maior para que seja medido o tamanho especificado do projeto.

Mediante a isso, apresenta-se a sugestão para que seja desenvolvido em algum trabalho futuro uma comparação de custo benefício em ambos os casos apresentados, tendo em vista um menor tempo de execução, menor desperdício de material e menor custo benefício.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. H. M.; BATISRA, E. M.; FAKURY, R. H.; FREITAS, A. M. S.; PIMENTA, R. J.; REQUENA, J. A. V. **Sobre a recente norma brasileira de projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto com perfis tubulares.**

São Paulo: Construmetal, 2012. Disponível em:

<<https://www.abcem.org.br/construmetal/2012/arquivos/Cont-tecnicas/21-Construmetal2012-Sobre-a-norma-brasileira-de-projeto-de-estruturas-de-aco.pdf>>.

Acesso em: 29 ago. 2019.

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

BELLEI, I. H; PINHO, F. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço.** 2.ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.

ESAB. **Processo de soldagem: eletrodo revestido.** Disponível em:

<https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm> Acesso em: 28 ago. 2019.

INSTITUTO AÇO BRASIL; CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO.

Ligações em estruturas metálicas. Instituto Aço Brasil/CBCA, 2017. Disponível

em:

<http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/archivos/manual_de_conexiones_de_estructuras_metalicas.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2019.

INSTITUTO AÇO BRASIL; CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO.

Manual de construção em aço. 4 ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA,

2011. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2016/07/ligacoes-cbca-1.pdf>>.

Acesso em: 05 ago. 2019.

MARQUES, P. V., MODENESI, P. J., BRACARENSE, A. Q., **Soldagem Fundamentos e Tecnologia.** Belo Horizonte, Editora UFMG, 2007.

NETO, J. G. R. **Notas de aula: Estruturas metálicas - ligações**. PUC Goiás, 2016. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17448/material/9%20-%20LIGAÇÕES%20-%20parte%201.pdf>> Acesso em: 02 out. 2019.

PFEIL, W. e PFEIL, M. **Estruturas de aço**: Dimensionamento prático. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Disponível em: <<https://kaiohdutra.files.wordpress.com/2016/02/estruturas-de-aco-dimensionamento-pratico.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

VALLE, A.; PEREIRA, N. B. **Notas de aula: Ligações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1376880/mod_resource/content/0/Ligacoes%20com%20pinos2015.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.

CASTRO, E.M.C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 1999. Disponível em: <http://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6247/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_PatologiaEdif%C3%ADciosEstrutura.pdf>. Acesso 20: agosto 2019.

WAINER, E., BRANDI, S. e MELLO, F. D.H., **Soldagem**: Processos e Metalurgia. São Paulo, Edgard Blücher, 1992. Acesso em: 28 set. 2019.

SILVA, Valdir Pignatta. **Estruturas de aço para edifícios**. 1.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2012.