

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DANIELA DE OLIVEIRA ARAUJO**

**LORENA CRISTINA SILVA**

**ESTUDO DE EMENDAS SOLDADAS EM PEÇAS DE AÇO**

**ANÁPOLIS / GO**

**2017**

**DANIELA DE OLIVEIRA ARAUJO**

**LORENA CRISTINA SILVA**

**ESTUDO DE EMENDAS SOLDADAS EM PEÇAS DE AÇO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: ROGÉRIO SANTOS CARDOSO**

**ANÁPOLIS / GO: 2017**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ARAUJO, DANIELA DE OLIVEIRA/ SILVA, LORENA CRISTINA

Estudo de emendas soldadas em peças de aço

79 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Estruturas de aço

2. ABNT NBR 8800

3. Ligações soldadas

4. Inspeções

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAUJO, Daniela de Oliveira; SILVA, Lorena Cristina. Estudo de emendas soldadas em peças de aço. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 79 p. 2017.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daniela de Oliveira Araujo

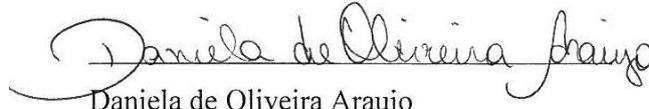
Lorena Cristina Silva

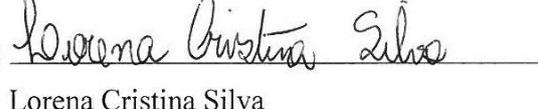
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo de emendas soldadas em peças de aço

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

  
Daniela de Oliveira Araujo

  
Lorena Cristina Silva

E-mail: dani\_oliveira012@hotmail.com

E-mail: lorenaa-001@hotmail.com

**DANIELA DE OLIVEIRA ARAUJO**

**LORENA CRISTINA SILVA**

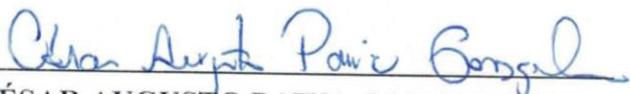
**ESTUDO DE EMENDAS SOLDADAS EM PEÇAS DE AÇO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)**  
**(ORIENTADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**PAULO ALEXANDRE DE OLIVEIRA, Mestre (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**CÉSAR AUGUSTO PAIVA GONÇALVES, Mestre (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 27 de Novembro de 2017.**

## **AGRADECIMENTOS**

Antes de tudo agradeço imensuravelmente a Deus por ser minha força, meu refúgio, minha esperança, o SENHOR da minha vida. Tenho imensa gratidão pelos meus pais, Ademar e Luciana, que se dedicaram ao máximo para me verem onde estou. Obrigada aos meus avós, Antônio, Carlita, Bady e Maria e minhas irmãs Alessandra e Beatriz. Aos meus familiares e amigos meu muito obrigada, pelo apoio e pela contribuição que de alguma forma me permitiu chegar até aqui. Não poderia deixar de mencionar minha gratidão à UniEvangélica por todo seu suporte, e é claro a todos os docentes e funcionários, especialmente ao meu orientador Rogério por ser um professor e profissional a quem admiro e em quem me espelho.

Daniela de Oliveira Araujo

## **AGRADECIMENTOS**

Minha maior gratidão é ao Nosso Senhor Deus, que me permitiu concretizar esse sonho me dando serenidade e perseverança. Agradeço aos meus pais, Cláudio e Neide, pelo amparo, confiança e dedicação em tornar meu sonho realidade; e aos meus avós, pelo apoio incondicional e por serem minha maior inspiração e exemplo. Agradeço aos meus irmãos e familiares que me incentivaram e apoiaram ao longo desses anos. Aos meus colegas e amigos pelo companheirismo. Ao Prof. Ms. Rogério Cardoso, meus sinceros agradecimentos, por todo apoio, tempo e dedicação depositados na orientação deste trabalho.

Lorena Cristina Silva

## RESUMO

A utilização de estruturas de aço na engenharia civil remonta ao século dezoito, desde então, materiais e métodos vem se tornando cada vez mais avançados tecnologicamente. Com o passar do tempo, surgiu a necessidade da otimização em relação às técnicas e métodos construtivos, para se conseguir estruturas maiores, mais econômicas e mais rápidas para serem construídas. A inovação tecnológica é uma marca da construção em aço, novas ligas têm sido desenvolvidas, novos métodos construtivos e novos tipos de ligações e emendas em peças metálicas. Vários tipos de ligações e de materiais para executar emendas metálicas estão presentes no mercado atual. Dentre os tipos de ligação dos elementos estruturais de aço incluem-se as ligações soldadas, sendo estas o objetivo principal do presente estudo. Para se obter ligações de boa qualidade e alta resistência, é indispensável seguir padrões de dimensionamento e execução. Além disso, inspeções pós-soldagem devem ser realizadas e conduzidas de forma rígida para verificar a qualidade da solda e garantir que nenhuma degradação do material tenha ocorrido. Uma solda mal planejada pode gerar inúmeras falhas e patologias que prejudicam a integridade do material. Muitas vezes, essas falhas não podem ser corrigidas, ficando obrigatoriamente necessário executá-las novamente, levando a atrasos no projeto e custo ao longo das execuções. Em relação aos processos de soldagem existem vários métodos, onde cada um tem particularidades que vão atender aos muitos tipos de solda e ao resultado que se deseja ter. Já em relação aos tipos de solda, as principais são as soldas de entalhe e as soldas de filete, ambos os tipos são apresentados em exemplos de dimensionamento numéricos, que foram resolvidos com base na ABNT NBR 8800- Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Ao final, conclui-se que uma solda quando bem dimensionada e executada apresenta qualidade igual ou até mesmo superior a do restante da peça soldada, tendo capacidade mais que suficiente para resistir aos esforços solicitantes de toda uma estrutura.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Estruturas de aço. ABNT NBR 8800. Ligações soldadas. Inspeções.

## **ABSTRACT**

The use of steel structures in civil engineering dates back to the 18th century, since then, materials and methods have become ever more technologically advanced. Through the course of time, cultural demands on civil engineering have led to the evolution of better construction methods and better materials necessary for building larger structures more economically and in less time. A hallmark of steel construction is technological innovation some of which is seen in the form of new alloys, new construction methods and new ways to attach and splice metal. The current market offers various types of bonds and materials for this purpose. Among them the most commonly used is welding which is the principal subject of this study. In order to achieve highly resistant, good quality welds it is of utmost importance that proper design and execution standards are followed and adhered. In addition, post weld inspections must be rigidly conducted to verify weld quality and make sure no material degradation has occurred. Poorly planned and executed welding work can lead to numerous pathologies and faults that undermine material integrity. Often these faults cannot be corrected and therefore, require that the work be redone from scratch leading to project delays and cost over runs. In relation to the processes of welding there are several methods, where each one has particularities that will attend to the many types of weld and the result that one wishes to have. Regarding the types of welding, the main ones are notch welds and fillet welds, both types are presented in numerical sizing examples, which were solved based on ABNT NBR 8800 - Design of steel structures and structures steel and concrete buildings. In conclusion, high quality welds, well planned, precisely measured and carefully executed can achieve material integrity equal and even superior to the metal parts being welded, thereby, providing connections able to resist high stress and metal fatigue experienced throughout structures.

### **KEY WORDS:**

Steel structures. ABNT NBR 8800. Welded connections. Inspections.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo .....	20
Figura 2 – Eletrodo revestido .....	21
Figura 3 – Arco submerso .....	22
Figura 4 – Processo de soldagem TIG .....	23
Figura 5 – Processo de soldagem MIG/MAG .....	24
Figura 6 – Processo de soldagem com transferência por spray .....	25
Figura 7 – Processo de soldagem eletro-escória .....	27
Figura 8 – Processo de soldagem por arame tubular .....	28
Figura 9 - Juntas soldadas .....	29
Figura 10 – Esquema de solda de filete .....	30
Figura 11 – Esquema de solda de entalhe com penetração total .....	30
Figura 12 – Esquema de solda de entalhe com penetração parcial .....	30
Figura 13 – Compatibilidade do metal-base com o metal da solda <sup>a, b</sup> .....	34
Figura 14 – Notas explicativas .....	35
Figura 15 - Solda de penetração total e solda de penetração parcial .....	37
Figura 16 - Definições para soldas em chanfro .....	37
Figura 17 - Exemplos de garganta efetiva em soldas de penetração parcial executadas pelos processos SMAW .....	38
Figura 18 - Emendas de entalhe com chanfro em bisel ou em V. Espessuras efetivas da solda $t_e$ , (garganta de solda) .....	39
Figura 19 - Solda de filete .....	42
Figura 20 - Definições para filetes de solda .....	42
Figura 21 – Solda de filete com múltiplos passes .....	42
Figura 22 - Filete de solda. Seção real e seção teórica da solda .....	43
Figura 23 - Dimensões máximas dos lados de filetes de solda .....	44
Figura 24 - Solda de tampão, circular e alongado. ....	47
Figura 25 - Exemplo 1 .....	49
Figura 26 – Exemplo 2 .....	51
Figura 27 – Exemplo 3 .....	53
Figura 28 – Solda com porosidade .....	57
Figura 29 – Exemplo de inclusão de escória .....	58
Figura 30 - Esquema de mordeduras .....	59

Figura 31 – Exemplo de falta de fusão .....	59
Figura 32 – Exemplo de falta de penetração .....	60
Figura 33 – Exemplos de trincas na zona afetada pelo calor.....	61
Figura 34 – Exemplos de trincas devido a solidificação do metal de solda .....	61
Figura 35 - Falta de usinagem nas extremidades das ligações .....	62
Figura 36 - Incompatibilidade entre perfis .....	62
Figura 37 - Mistura de ligações .....	63
Figura 38 - Amassamento nas extremidades .....	63
Figura 39 - Esquema do teste de inspeção de fissuras por líquidos penetrantes .....	67
Figura 40 - Solda com trincas.....	72
Figura 41 - Solda com porosidade .....	72
Figura 42 - Solda com inclusão de escória .....	72
Figura 43 - Solda com falta de penetração .....	73
Figura 44 - solda com falta de fusão.....	73
Figura 45 - Solda com reforço excessivo .....	73
Figura 46 - Radiografia de uma solda sadia .....	74
Figura 47 – Simbologia de solda .....	79

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Espessura da garganta efetiva de soldas de penetração parcial.....	35
Quadro 2 - Espessura da garganta efetiva da solda em juntas de superfície curva .....	36
Quadro 3 - Força resistente de cálculo de soldas de entalhe .....	40
Quadro 4- Força resistente de cálculo de soldas de filete.....	46

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Condições de emprego dos processos de soldagem .....	28
Tabela 2 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações variáveis .....	32
Tabela 3 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações permanentes .....	32
Tabela 4 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências $\gamma_a$ .....	33
Tabela 5 – Resistência de alguns aços-carbono.....	33
Tabela 6 – Resistência à tração do metal da solda .....	34
Tabela 7 - Espessura mínima de garganta efetiva de uma solda de entalhe de penetração parcial (mm) .....	38
Tabela 8 – Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete .....	45

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AR	Argônio
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico
ESAB	Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget
ESW	Electro Slag Welding
FCAW	Flux Cored Arc Welding
GMAW	Gas Metal Arc Welding
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
H	Horizontal
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
NBR	Norma Brasileira
P	Plana
S	Sobrecabeça
SAW	Submerged Arc Welding
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
TIG	Tungsten Inert Gas
V	Vertical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS .....	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivo específico.....	16
1.3 METODOLOGIA .....	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
<b>2 EMBASAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 HISTÓRIA DA SOLDA .....	18
2.2 DEFINIÇÃO .....	19
2.3 PROCESSOS DE SOLDAGEM.....	20
2.3.1 Soldagem com eletrodo revestido (SMAW) .....	20
2.3.2 Soldagem por arco submerso (SAW).....	21
2.3.3 Soldagem TIG .....	22
2.3.4 Soldagem MIG e MAG .....	23
2.3.5 Soldagem por curto-circuito.....	24
2.3.6 Soldagem com transferência por spray .....	25
2.3.7 Soldagem com transferência por arco pulsado.....	26
2.3.8 Soldagem por eletro-escória.....	26
2.3.9 Soldagem por arame tubular.....	27
2.4 EMPREGO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM.....	28
2.5 TIPOS DE SOLDA .....	29
<b>3 TEORIA DO DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>32</b>
3.1 SOLDA DE ENTALHE.....	35
3.2 SOLDA DE FILETE.....	41
3.3 SOLDA DE TAMPÃO .....	47
<b>4 EXEMPLOS NUMÉRICOS DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES SOLDADAS .....</b>	<b>49</b>
4.1 EXEMPLO 1.....	49
4.2 EXEMPLO 2.....	51
4.3 EXEMPLO 3.....	52

<b>5</b>	<b>PATOLOGIAS EM LIGAÇÕES SOLDADAS</b>	<b>55</b>
5.1	PATOLOGIAS DO CORDÃO DE SOLDA	55
5.1.1	Descontinuidades dimensionais	55
5.1.1.1	Distorção	55
5.1.1.2	Preparação incorreta da junta	56
5.1.1.3	Dimensão incorreta da solda	56
5.1.1.4	Perfil incorreto da solda	56
5.1.2	Descontinuidades estruturais	57
5.1.2.1	Porosidade	57
5.1.2.2	Inclusão de escória	58
5.1.2.3	Inclusão de Tungstênio	58
5.1.2.4	Mordeduras	58
5.1.2.5	Falta de Fusão	59
5.1.2.6	Falta de Penetração	59
5.1.2.7	Trincas	60
5.2	PATOLOGIAS DO CONJUNTO DA LIGAÇÃO	61
5.2.1	Descontinuidades do conjunto da ligação	61
5.2.1.1	Falta de usinagem das extremidades das ligações	61
5.2.1.2	Incompatibilidade entre perfis	62
5.2.1.3	Mistura de ligações	62
5.2.1.4	Amassamento das extremidades	63
<b>6</b>	<b>ENSAIOS</b>	<b>65</b>
6.1	INSPEÇÃO VISUAL	66
6.2	INSPEÇÃO POR LÍQUIDOS PENETRANTES	67
6.3	INSPEÇÃO POR PARTÍCULA MAGNÉTICA	69
6.4	ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL	70
6.5	ENSAIO POR ULTRASSOM	70
6.6	INSPEÇÃO RADIOGRÁFICA COM RAIOS-X E RAIOS GAMA	71
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>77</b>
	<b>ANEXO A - Simbologia de solda</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aço é uma liga metálica constituída basicamente por minério de ferro, carvão mineral e carbono. Surgiu a partir da carência de um elemento mais resistente que o ferro fundido, que é um material rígido e quebradiço. Sua utilização na construção civil data de 1750, e até os dias de hoje vem sendo consideravelmente o mais empregado em diversas áreas devido as suas inúmeras vantagens.

As principais vantagens das estruturas de aço são a alta resistência, alta precisão construtiva, rápido tempo de retorno, agilidade na fabricação e montagem da estrutura, redução de acidentes e desperdícios no canteiro de obras e flexibilidade em relação a possíveis adaptações.

Quando se fala em estrutura de aço, um aspecto muito importante a ser analisado é a definição do sistema de ligação entre os componentes da estrutura, ou seja, entre os pilares, vigas e contraventamentos. Entre os meios de ligação das partes de uma estrutura, destacam-se as soldas e as emendas aparafusadas.

Nas emendas aparafusadas, devem ser resistidos os esforços de tração e/ou cisalhamento, enquanto que nas emendas soldadas, além de tração e/ou cisalhamento, deve ser resistido também a tensão de compressão.

As emendas soldadas são utilizadas na fabricação de perfis (vigas I, H) e devem ser feitas de modo a assegurar a continuidade do material e, conseqüentemente, as propriedades químicas e físicas na junta. São usadas em larga escala em emendas de peças, bases de pilares e em outras ligações estruturais.

Antigamente, acreditava-se que as partes de uma peça onde haviam sido feito soldas, eram mais frágeis e poderiam vir a romper com facilidade. Entretanto, esses rumores foram quebrados. Comprovou-se por meio de diversos estudos que uma junta, quando soldada corretamente, possui as mesmas características das outras partes do material, tanto é verdade que as emendas soldadas fazem parte das principais normas de aço, nacionais e internacionais.

Segundo Bellei (1998), a primeira grande vantagem da solda está na economia do material, uma vez que o uso de soldagem permite o seu aproveitamento total (área líquida= área bruta). De acordo com ele, as estruturas soldadas permitem eliminar uma grande porcentagem de chapas de ligação em relação às estruturas parafusadas. “Em algumas estruturas de pontes ou treliças é possível economizar 15% ou mais de peso do aço”, afirma.

Dessa forma, atualmente é possível aproveitar as diversas vantagens que a solda oferece tranquilamente. A soldagem resulta em ligações mais simples e em peças e estruturas mais leves e econômicas.

As emendas soldadas são feitas praticamente em sua totalidade nas fábricas, devido às dificuldades que são encontradas para serem feitas em campo, isso se deve ao fato de que para as soldas saírem com um excelente padrão de qualidade, deve-se ter mão de obra qualificada, rígido controle de fiscalização, proteção do local contra vento e chuva, além das dificuldades com a acessibilidade ao local da soldagem, fazendo-se necessário o uso de andaimes por exemplo.

Os perfis são uns dos componentes mais importantes para o projeto, fabricação e montagem da estrutura metálica. Existem os perfis laminados, que são os fabricados a quente diretamente por laminação; os perfis soldados, constituídos por chapas de aço estrutural unidas entre si por soldagem a arco elétrico; e há também os perfis formados a frio ou perfis de chapas dobradas, composto por chapas finas.

Segundo Cardoso (2003, p. 22), os perfis soldados e os perfis laminados, mesmo sendo bastante conhecidos e utilizados no Brasil, não se adequam a todos os tipos de estruturas. “Há situações, onde o uso de perfis formados à frio, torna-se a melhor opção”, afirma.

A conformação a frio das chapas finas altera as características mecânicas do aço virgem, ocorrendo acréscimo nas tensões limite de escoamento e de resistência à tração, como conseqüências têm-se a redução na ductilidade do material e o surgimento de tensões residuais, que aparecem mais na região dos cantos dobrados.

O processo de soldagem nos perfis é bem diverso, podendo ser utilizado nas ligações, nas emendas de elementos estruturais e na composição de seções compostas tipo “I” e “caixa”.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

É notável que a utilização de estruturas de aço na construção civil minimizou consideravelmente diversos problemas que antes eram enfrentados. Não há dúvidas de que trouxe maior praticidade e facilidade. Por ser tão leve, único e homogêneo, e outras características extremamente diferenciadas, esse material se tornou indispensável em muitas áreas, especialmente na engenharia. Por isso a importância de se conhecer e estudar mais a respeito da área de estrutura metálica.

Dentro de estruturas metálicas, é imprescindível que se fale de peças estruturais e conforme já foi discutido anteriormente, as peças ou elementos estruturais podem ser ligados por parafusos ou soldas, sendo esta última o objeto deste trabalho.

As ligações soldadas trazem vantagens como: economia de material, ligações “mais rígidas”, facilidade para corrigir ou efetuar modificações, menor quantidade de peças e melhor acabamento. Portanto, torna-se necessário conhecer as aplicações dos processos de emendas soldadas em peças de aço.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Aprofundar os conhecimentos em ligações de estruturas metálicas em geral, especialmente sobre as utilizadas no Brasil, em decorrência das suas muitas vantagens, pesquisando seu comportamento em relação aos esforços solicitantes estruturais.

### 1.2.2 Objetivo específico

Apresentar e oferecer aos estudantes e profissionais da engenharia civil, um estudo do comportamento de peças ou elementos de aço com emendas soldadas, bem como as prescrições normativas para o seu dimensionamento e execução.

Muitas vezes o dimensionamento das peças metálicas recebe todo cuidado pelos projetistas, enquanto o dimensionamento das ligações fica relegado a um plano de menor importância. Portanto, este texto apresenta um resumo normativo do dimensionamento das ligações soldadas e ainda, alguns exemplos numéricos são apresentados para facilitar o entendimento.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi a de elaborar um levantamento bibliográfico do comportamento e do dimensionamento de ligações e emendas soldadas, com a apresentação de exemplos numéricos. Foram utilizados programas computacionais para ajudar no cálculo das estruturas e de seus elementos, bem como no dimensionamento dos elementos estruturais, com o fim de exemplificar a teoria normativa de dimensionamento,

conforme apresentada na NBR 8800 (ABNT, 2008) - Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O corpo deste trabalho de conclusão de curso está organizado em sete capítulos. O primeiro capítulo descreve o contexto histórico do aço, ressaltando as vantagens de seu emprego na construção civil, enfatizando as peças com emendas soldadas. Ainda nesse capítulo os objetivos e as justificativas são apresentados.

No segundo capítulo, apresentam-se os principais processos de soldagem existentes, seu emprego, utilização e seu aperfeiçoamento, além de ressaltar os seus pontos positivos e negativos e a evolução do processo de soldagem ao longo do tempo.

O capítulo três aborda a teoria do dimensionamento de ligações soldadas, onde são demonstrados cálculos e fórmulas para dimensionamento de soldas de entalhe, filete e tampão, inteiramente baseados na NBR 8800 (ABNT, 2008).

O capítulo quatro mostra exemplos numéricos de cálculo e dimensionamento de soldas de entalhe e de filete, que foram demonstradas teoricamente no capítulo anterior, e ainda trás um texto explicativo sobre os resultados obtidos.

O capítulo cinco descreve sobre as patologias que podem vir a ocorrer em ligações soldadas, e logo em seguida, no capítulo seis, é mostrado os métodos de ensaio e/ou inspeção para verificação da solda e conseqüentemente a detecção dessas possíveis patologias.

Finalmente, o capítulo sete trás a análise geral dos estudos, apresentando as conclusões obtidas e sugestões para futuras pesquisas.

## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

### 2.1 HISTÓRIA DA SOLDA

A primeira operação utilizada para a junção de peças metálicas foi a soldagem por forjamento, sendo atualmente uma técnica praticamente postergada. Especula-se que a soldagem por pressão foi usada pela primeira vez acerca de 5.000 a.C. pelos egípcios.

O aperfeiçoamento da solda teve-se a partir da Revolução Industrial do século XIX, através da descoberta do arco elétrico em 1801, por Sir Humphrey Davis, que descobriu também o acetileno (gás combustível usado para produzir a chama oxi-acetilênica) em 1836.

Thomson, considerado o pai da soldagem por resistência, em 1877 realiza um estudo á soldagem por resistência com ajuda de pressão mecânica para utilização em fios metálicos.

Em 1885, Nikolas Bernardos e Stanislav Olszewsky patentearam o processo de soldagem á arco elétrico utilizando um eletrodo de grafite, e em 1889 N. G. Slavianoff e C. Coffin o substituiu por arame metálico.

No início da Primeira Guerra Mundial, a demanda internacional pela fabricação de produtos metálicos colaborou para a permanência de fabricantes de equipamentos de soldagem ao arco elétrico e aperfeiçoamento das aplicações dos equipamentos.

Com esse crescimento nas aplicações de soldagem a arco elétrico, surgiram as primeiras normas de especificação de eletrodos em 1930 nos Estados Unidos. Nos anos 30, surgiram varias inovações como o uso do fluxo granular ou a aplicação da corrente alternada, onde foi desenvolvido o processo de soldagem TIG. De acordo com Bellei (1998), nesse mesmo século também surgiu o processo de soldagem por arco submerso. Depois disso H. F. Kennedy desenvolve o processo de soldagem MIG.

Em 1944, um experimento científico mostrou que através de uma explosão, dois discos metálicos ligados a um detonador foram soldados no estado sólido e apresentaram uma interface ondulada. Esse fenômeno já havia sido observado durante a Segunda Guerra Mundial, quando partes metálicas de projéteis e estilhaços se colidiam com outras superfícies metálicas e soldavam-se umas ás outras. Então em 1957, surgiu a soldagem por explosão de uma chapa de alumínio á um perfil de aço.

Após isso, outros inúmeros processos e aplicações com custos menores, mais eficientes e rápidos foram desenvolvidos para atender as necessidades que iam surgindo. Soldagem por feixes de elétrons, soldagem por eletroescória, soldagem a laser e o processo

MAG, que utiliza gás ativo como proteção da poça de fusão e do arco elétrico, são alguns dos que surgiram nessa época.

Assim, com o passar dos anos as técnicas foram sendo melhoradas, os equipamentos foram se tornando mais sofisticados, eficazes e seguros, além disso, mais pesquisas realizadas nessa área de soldagem foram sendo desenvolvidas dentro da construção civil. São vários os processos de soldagem existentes atualmente, sendo um dos mais usados o uso de solda por eletrodo revestido, que se destaca por ser mais simples e de menor custo.

## 2.2 DEFINIÇÃO

Uma operação de soldagem visa a união de duas ou mais peças de modo a assegurar na junta, a continuidade das propriedades físicas e químicas do material de base. Segundo Valenciani (1997), o processo de soldagem consiste na fusão do material de base ao material de adição interposto na junta, através da aplicação de energia.

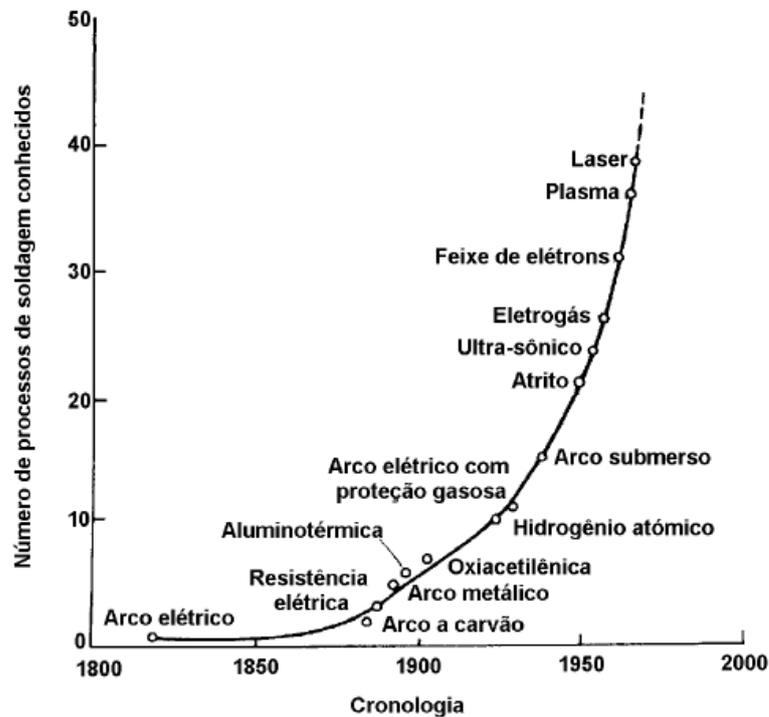
A soldagem por resistência consiste na fusão das peças de metal por meio de aquecimento e pressão, utilizando um arco elétrico ou uma chama de oxiacetileno, entretanto o arco elétrico é o mais usado nas soldagens. A soldagem por fusão pode ser feita com ou sem a junção de material de adição, através do aquecimento do metal até a sua temperatura de fusão.

Atualmente existem inúmeros processos de soldagem, totalizando mais de 40 conhecidos. Segundo Valenciani (1997), cada tipo de solda tem suas vantagens e desvantagens, muitas vezes, há um processo de solda específico para determinado tipo de metal, onde os processos mais comumente utilizados não se aplicam a esses casos especiais.

Quando se opta por realizar emendas soldadas, é imprescindível o uso de barras com características de soldabilidade previstas pelas normas dos produtos, onde a composição química do aço é controlada.

A figura 1 a seguir, mostra a evolução dos mais conhecidos processos de soldagem ao longo do tempo.

Figura 1 - Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo



Fonte: Wainer (1992, *apud* VALENCIANI, 1997).

## 2.3 PROCESSOS DE SOLDAGEM

Como já foi dito, existem vários tipos de processos de soldagens utilizados em estruturas metálicas, com diversas características e aplicações distintas. Existe um processo adequado para cada tipo de aço e suas respectivas resistências, o que depende também de como deve ser feita a montagem da estrutura, a geometria e espessura da seção transversal da barra a ser soldada, além do tipo de desempenho que se espera, ou seja, a qualidade da solda que se é esperada. A seguir são descritos os principais processos de soldagem utilizados atualmente e suas aplicações.

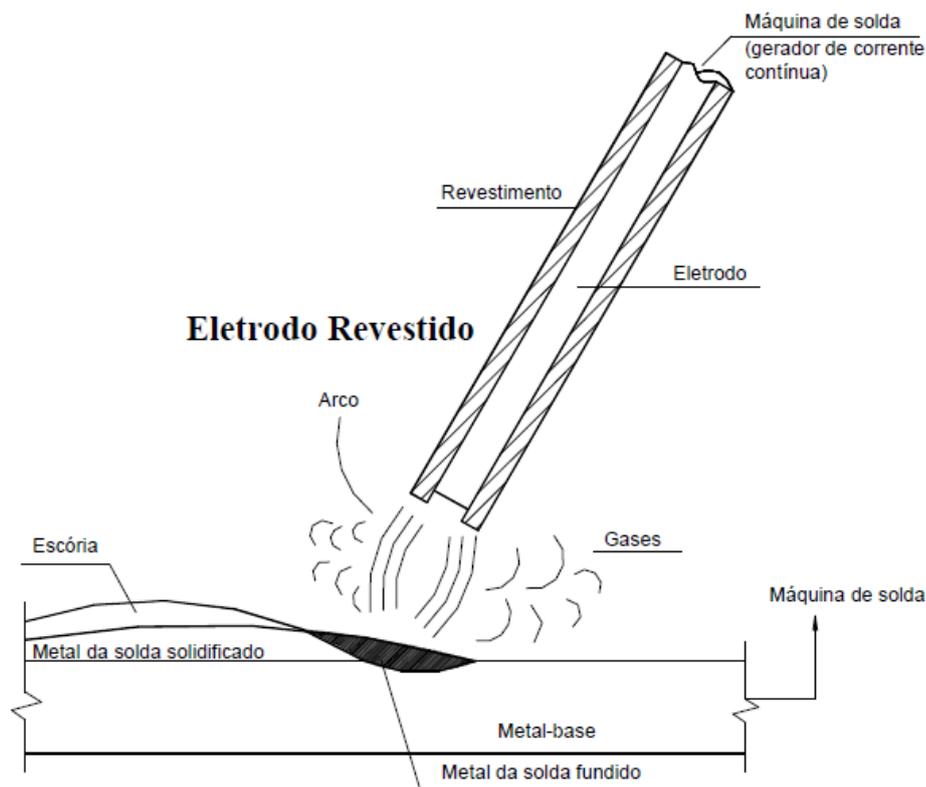
### 2.3.1 Soldagem com eletrodo revestido (SMAW)

Este procedimento é realizado manualmente por meio do aquecimento e fusão dos metais através de um arco elétrico mantido entre a extremidade de um eletrodo metálico revestido e o metal de base da junta a ser soldada. Os gases e a escória líquida, produzidos pela combustão do revestimento do eletrodo protegem o metal fundido da atmosfera durante o período de solidificação.

É o processo mais usado na fabricação e na manutenção de estruturas de aço, devido a grande versatilidade da produção e simplicidade de seus equipamentos, gerando um custo relativamente baixo, além de resultar em uniões com excelentes propriedades e não exigir grandes ajustes na estrutura.

A soldagem com eletrodo revestido pode ser feita em todas as posições, em campo ou nas fábricas e é utilizada para materiais de espessuras entre 1,5mm a 30 mm. Em contrapartida, esse processo de soldagem exige mão de obra habilidosa devido a frequente mudança de eletrodos e a necessidade de remover a escória em cada passe quando é feita soldagem com várias camadas. A figura 2 esquematiza um eletrodo revestido:

**Figura 2 – Eletrodo revestido**



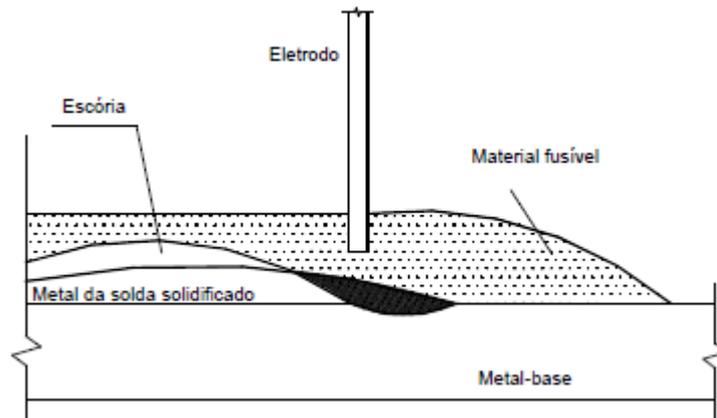
Fonte: RODRIGUES, 2010.

### 2.3.2 Soldagem por arco submerso (SAW)

Ao contrário da soldagem com eletrodo revestido, a soldagem por arco submerso (SAW) é um processo automático, em que um arco elétrico transfere calor entre um eletrodo de arame sólido ou tubular e o metal de base. O arco elétrico e o metal de base ficam submersos em um fluxo granulado e assim são protegidos das contaminações da atmosfera.

Parte desse fluxo é fundida gerando a escória líquida, que é solidificada posteriormente. O restante do fluxo não fundido é recolhido e pode ser reaproveitado em outras operações. O processo com o arco submerso é utilizado em soldas de topo ou em ângulo com mais de um metro de comprimento e 5 a 50 mm de espessura. Pode ser usado tanto em seções finas, quanto em seções mais espessas (mais de 200 mm de espessura). Este tipo de soldagem apresenta alta taxa de deposição e boa qualidade da solda, porém limita-se apenas nas posições plana e horizontal e não é adequado para todos os metais e ligas. O sistema por arco submerso é representado na figura 3:

**Figura 3 – Arco submerso**



Fonte: RODRIGUES, 2010.

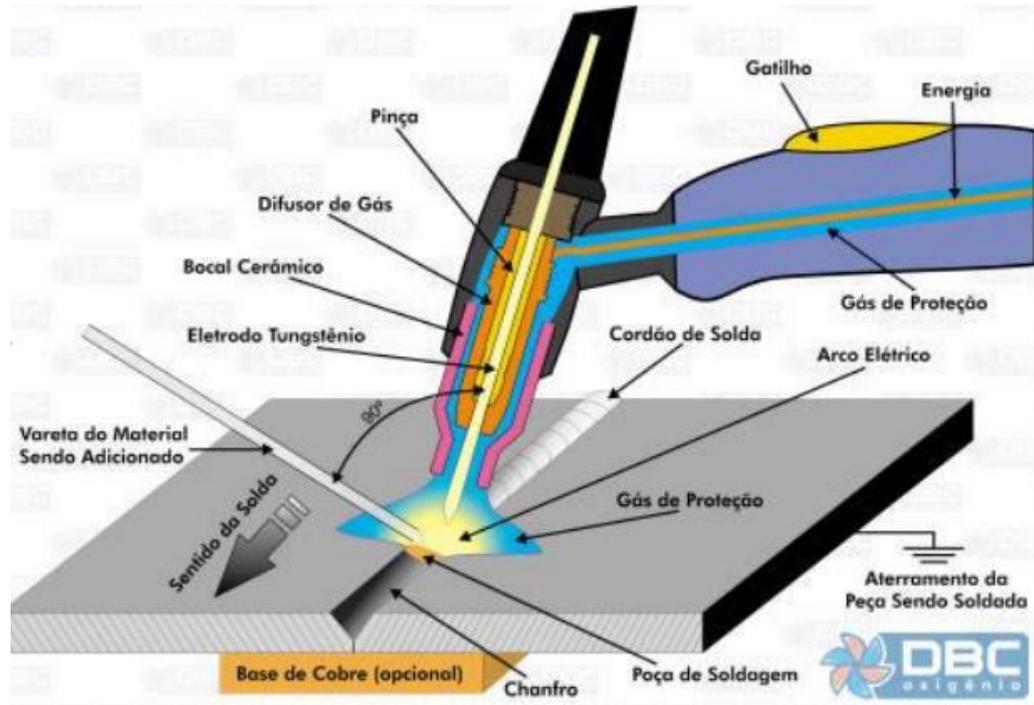
### 2.3.3 Soldagem TIG

TIG (Tungsten Inert Gas) ou GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) é um tipo de soldagem também a arco elétrico em que o calor é gerado com o auxílio de um eletrodo sólido de tungstênio não consumível, como é mostrado na figura 4. Se houver necessidade, pode ser feito um acréscimo de metal de adição, que geralmente é um arame relativamente fino adicionado no limite da poça de fusão. O eletrodo e a poça de fusão ficam protegidos da atmosfera pelo gás inerte. Neste processo o eletrodo não é fundido, evitando assim a descontinuidade do cordão de solda e também a produção de escória, o que gera uma solda limpa e de alta qualidade.

A soldagem TIG pode ser feita manual ou automaticamente, entretanto o processo manual exige extrema habilidade do operador devido à dificuldade para manter um pequeno arco e ainda não deixar com que o eletrodo encoste-se à peça de trabalho. O processo TIG é

muito usado em emendas de não ferrosos e inoxidáveis, onde a qualidade da solda é extremamente importante, além de poder ser usado para quase todos os metais.

Figura 4 – Processo de soldagem TIG



Fonte: DBC (2014, *apud* CORREIA, 2017).

#### 2.3.4 Soldagem MIG e MAG

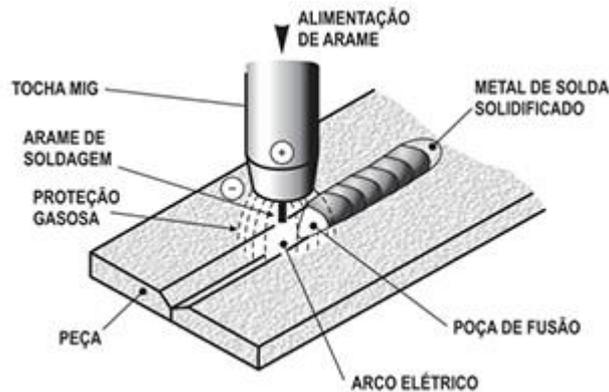
Os processos MIG e MAG se diferem apenas pelos gases de proteção que são usados para proteger a poça de solda das contaminações da atmosfera. No caso da soldagem MIG o gás é inerte, já na soldagem MAG usa-se gás ativo.

Na soldagem MIG (Metal Gas Inert) também conhecida como GMAW (Gas Metal Arc Welding) o arco elétrico é gerado por um eletrodo consumível, em forma de arame, que entra em contato com o metal base até chegar a temperatura de fusão e gerar a poça de fusão, que é o que vai causar a união dos metais ali presentes após ser resfriada. Neste processo, a poça de fusão é protegida da atmosfera por gás inerte.

A soldagem MIG é um processo que pode ser semi ou totalmente automatizado, proporciona soldas de alta qualidade para a maioria dos metais, possui elevada taxa de deposição e pode ser empregada em aços inoxidáveis e ligas não ferrosas, uma grande vantagem desse processo em relação aos demais, é que pode ser executado em todas as

posições de soldagem. Em contrapartida, o custo do gás inerte é elevado e o procedimento não pode ser executado em locais abertos. O processo MIG/MAG é exemplificado na figura 5:

**Figura 5 – Processo de soldagem MIG/MAG**



Fonte: ESAB, 2014.

### 2.3.5 Soldagem por curto-circuito

Na soldagem por curto-circuito o gás de proteção utilizado é o  $\text{CO}_2$ , por isso é denominada MAG (Metal Active Gas). O curto-circuito ocorre quando o arame toca a peça de metal muitas vezes seguidas, cerca de 20 a 200 vezes por segundo, aplicando pequenos comprimentos de arco por meio de baixas tensões e, inicialmente, baixas correntes de soldagem, o que garante uma boa estabilidade do arco. Em seguida, a corrente de soldagem é acelerada, causando um forte aquecimento do eletrodo e a partir disso o metal é transferido da ponta do arame para a poça de fusão que é solidificada rapidamente. O aumento da corrente de soldagem deve ser controlado, pois se ela se elevar demasiadamente rápido gera uma grande quantidade de respingos, entretanto, se a corrente se elevar muito lentamente, o arame pode não se romper, fazendo com que o processo de soldagem seja interrompido. Geralmente essas correntes são controladas por aparelhos eletrônicos próprios para esse fim.

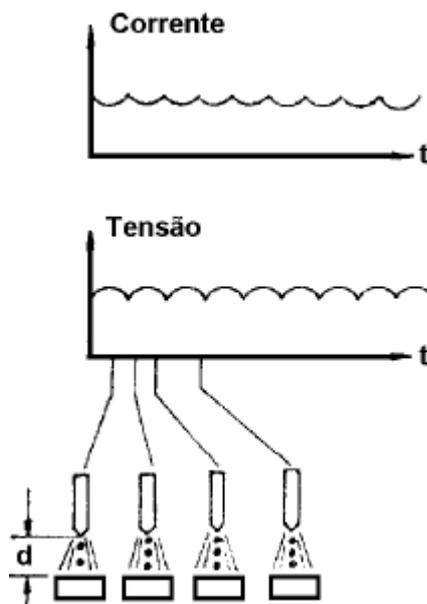
Nessa técnica de soldagem são utilizados arames de menor bitola, na faixa de 0,6 mm a 1,2 mm. Pode ser feita em qualquer posição para peças com pequenas espessuras, já nos materiais de grande espessura é possível realizar a solda nas posições vertical e sobrecabeça, e ainda pode ser utilizada no enchimento de largas aberturas. O fato de o  $\text{CO}_2$  ser um gás de baixo custo faz com que esse seja um dos processos mais utilizados na soldagem de estruturas de aço, apesar de que só pode ser feita em aços-carbono e de baixa liga, não podendo ser executado em locais abertos.

### 2.3.6 Soldagem com transferência por spray

Na soldagem com transferência por spray, a poça de fusão é protegida por uma mistura de gases rica em argônio e contendo no máximo cerca de 15 a 18% de  $\text{CO}_2$ , utilizando correntes elevadas de modo que o processo de transferência seja controlado pela força magnética. Se for adicionado uma quantidade de  $\text{CO}_2$  além do necessário, a corrente se eleva excessivamente dificultando o processo de soldagem. Devido essas altas correntes, esse processo é empregado somente na soldagem de juntas de maior espessura e na posição plana, porque o volume e fluidez da poça de fusão dificultam sua execução nas demais posições.

A transferência por spray tende a ser extremamente estável, uma vez que é rara a ocorrência de curto-circuito desde que o arco seja longo o suficiente para preveni-los. A boa estabilidade do arco também é assegurada pelas pequenas gotas que saem do arame. Assim, poucos respingos são associados com essa técnica de soldagem, o que resulta em altas taxas de deposição do metal de solda. Este processo é usado para aços-carbono e de baixa liga e inadequado para utilização em locais abertos. A figura 6 mostra um esquema de transferência por spray:

Figura 6 – Processo de soldagem com transferência por spray



Fonte: Wainer (1992, *apud* VALENCIANI, 1997).

### **2.3.7 Soldagem com transferência por arco pulsado**

A soldagem com transferência por arco pulsado é uma variação da transferência por arco spray. Nela, as gotas metálicas são transferidas do arame por meio de correntes pulsadas, com frequência e amplitude controladas por aparelhos modernos de soldagem. A corrente é alternada entre um valor de pico e outro valor de base em um período de tempo determinado, formando ciclos e transferindo uma quantidade menor de calor para a peça, o que possibilita minimizar problemas de deformação e distorção das peças, principalmente na soldagem de chapas com pequenas espessuras. Dessa forma, pode ser executado em todas as posições de soldagem e na maioria das ligas e espessuras de chapa. O arco apresenta boa estabilidade quando o arame é alimentado sob maiores velocidades, podendo ser transferida apenas uma gota a cada pulso de corrente, resultando em uma solda com menos respingos e de boa qualidade. Entretanto a soldagem por corrente pulsada é inadequada para utilização em locais abertos e seu equipamento é complexo, o que resulta em um custo moderado do processo.

### **2.3.8 Soldagem por eletro-escória**

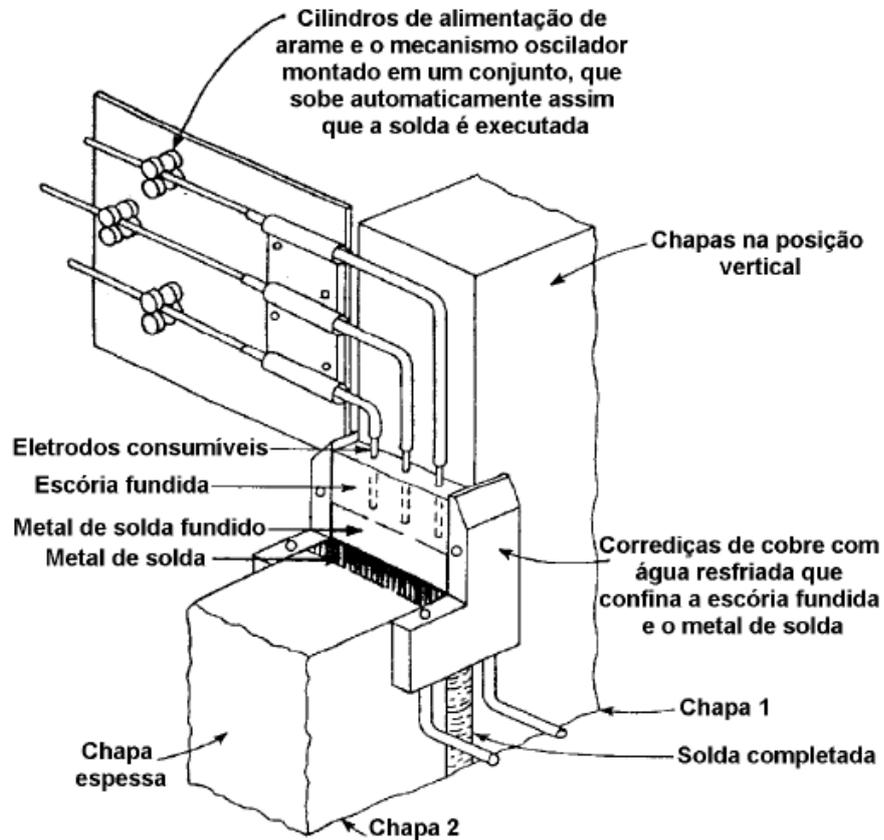
A soldagem por eletro-escória (ESW) é um processo que utiliza o arco elétrico somente para dar início a soldagem. Nela, o calor é gerado através da passagem de corrente elétrica pelo eletrodo e pela escória líquida, que funde o metal de adição e o metal de base. A escória passa a conduzir melhor do que a corrente elétrica do arco que logo se apaga. A poça de fusão fica protegida durante a soldagem pela escória que é obtida por meio da adição de fluxo granuloso no chanfro durante a operação.

O processo eletro-escória é muito utilizado na soldagem de seções muito espessas, onde é necessária uma alta taxa de deposição do metal. É economicamente viável em juntas de topo com espessuras a partir de 19 mm, e acima de 50 mm para aços-carbono e de baixa liga, não havendo limitações para espessuras máximas. A granulação é grosseira e a área de solda é afetada pelo calor, sendo necessário tratamento térmico após a soldagem para melhorar o seu aspecto. Os cordões de solda são executados apenas em um passe e somente na posição vertical ascendente, como mostra a figura 7.

A execução deste processo de soldagem não deve ser interrompida, pois caso ocorra, mesmo que seja breve, a camada de escória é resfriada levando a diluição insuficiente e conseqüentes descontinuidades na solda. A montagem da estrutura requer muito cuidado, por

isso é necessário mão-de-obra especializada. A soldagem é automática com alta velocidade, acarretando em um custo elevado de seus dispositivos de soldagem.

Figura 7 – Processo de soldagem eletro-escória



Fonte: Cooper (1985, *apud* VALENCIANI, 1997).

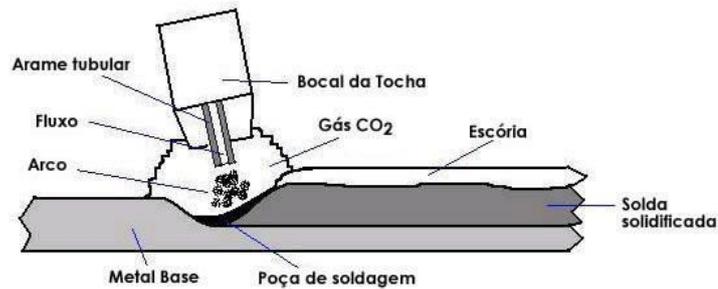
### 2.3.9 Soldagem por arame tubular

A soldagem por arame tubular também conhecida como FCAW (Flux-Cored Arc Welding) é um processo que une as partes a serem soldadas por meio de fusão, onde o calor é fornecido por um arco-elétrico estabelecido entre a peça de trabalho e um eletrodo metálico tubular. Este eletrodo contém em seu interior um fluxo apropriado capaz de gerar os gases necessários para a proteção do arco e do cordão de solda. Em algumas situações, a soldagem com arame tubular também pode utilizar gás de proteção em que na maioria das vezes utiliza-se 100%CO<sub>2</sub> e em alguns casos utiliza-se misturas 75%Ar e 25%CO<sub>2</sub>.

Atualmente os arames tubulares estão sendo fabricados com diâmetros cada vez menores, o que possibilita a soldagem em qualquer posição e para qualquer tipo de junta e

chapas. A utilização de arames auto protegidos resulta em um excelente aspecto ao cordão de solda, alta qualidade de solda, redução da quantidade de respingos, além da sua versatilidade e possibilidade de ser executado em ambientes sujeitos a intempéries. A figura 8 esquematiza a soldagem por arame tubular:

**Figura 8 – Processo de soldagem por arame tubular**



Fonte: DBC, 2014.

## 2.4 EMPREGO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM

O emprego de processos de soldagem depende demasiadamente do tipo do aço em que será empregado, se em aço-carbono ou em aço de baixa liga. Além disso, leva-se em consideração também a sua espessura. A tabela 1 a seguir apresenta quais os processos comerciais de soldagem que podem ser aplicados em função do tipo e espessura do material.

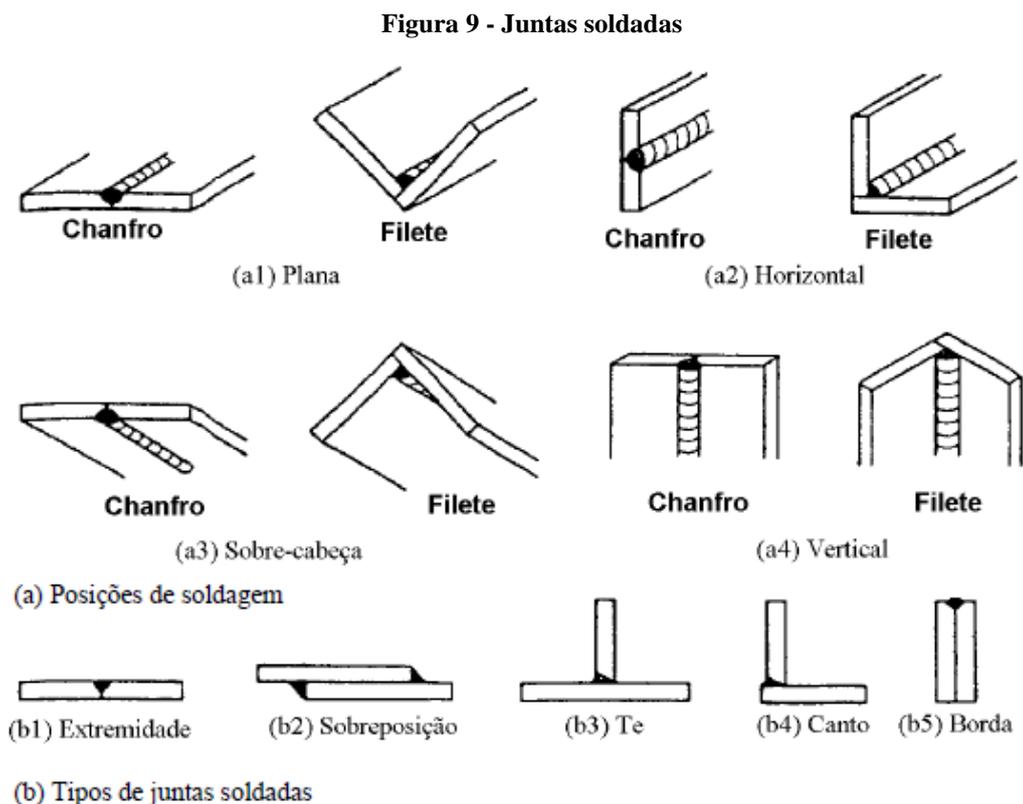
**Tabela 1 - Condições de emprego dos processos de soldagem**

Materiais	Espessuras	Eletrodo revestido	Arco submerso	MIG ou MAG	FCAW	TIG	Eletro escória
aço-carbono	até 3 mm	x	x	x		x	
	3 a 6 mm	x	x	x	x	x	
	6 a 19 mm	x	x	x	x		
	acima de 19 mm	x	x	x	x		x
aço de baixa liga	até 3 mm	x	x	x		x	
	3 a 6 mm	x	x	x	x	x	
	6 a 19 mm	x	x	x	x		

Fonte: Wainer (1992, *apud* VALENCIANI, 1997).

## 2.5 TIPOS DE SOLDA

Segundo Bellei (1998), as soldas se classificam quanto ao tipo e a posição. Em relação à posição, podem ser: planas, horizontais, verticais e sobre cabeça. Quanto ao tipo: filete, entalhe ou chanfro, ranhura e tampão. As juntas soldadas podem ser de extremidade, sobreposição, te, canto e borda. A figura 9 mostra esses exemplos.



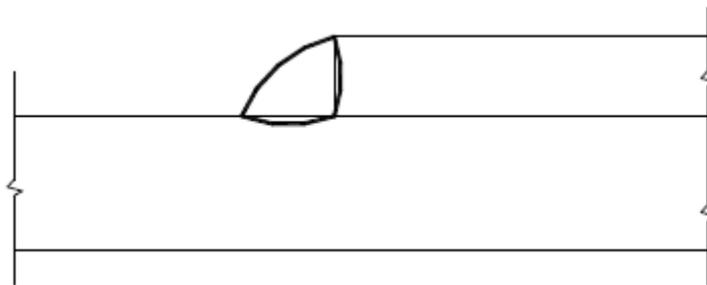
Fonte: Gaylord (1992, *apud* VALENCIANI, 1997).

Em relação ao tipo, o mais comum é a junta de sobreposição. Ela é facilmente ajustável em relação ao comprimento, pois não exige precisão na fabricação como nos outros tipos de juntas. Além disso, as extremidades das juntas não precisam de preparos especiais, por isso outra grande vantagem é o fato delas se unirem facilmente, podendo as chapas serem de espessuras diferentes. Já as juntas de topo ou extremidade, geralmente usam-se chapas niveladas de espessuras iguais ou próximas. Uma de suas vantagens é eliminar a excentricidade nas juntas de uma só sobreposição. Para serem unidas elas necessitam de preparações especiais e devem ser bem alinhadas antes da soldagem. Por serem necessários esses cuidados maiores, as ligações de extremidade são geralmente executadas em fábricas onde se obtém um controle maior. As juntas de te são usadas para fabricação de perfis “T” e

“T” e para fixação de enrijecedores. As de canto são usadas para seções caixão e também para fixar enrijecedores de extremidade. E por último as juntas de borda que não são estruturais, mas ainda sim são utilizadas para manter um alinhamento inicial e manter as chapas em determinada posição.

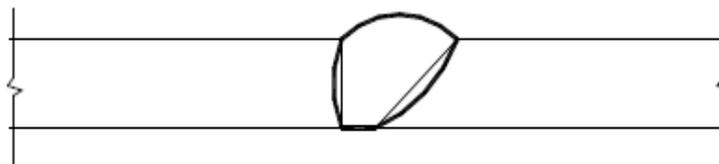
Os principais tipos de cordões de solda para ligações são os de filete (figura 10) e os de entalhe, que podem ser de dois tipos: penetração total (figura 11) e penetração parcial (figura 12).

**Figura 10 – Esquema de solda de filete**



Fonte: RODRIGUES, 2010.

**Figura 11 – Esquema de solda de entalhe com penetração total**



Fonte: RODRIGUES, 2010.

**Figura 12 – Esquema de solda de entalhe com penetração parcial**



Fonte: RODRIGUES, 2010.

Nas soldas de entalhe, coloca-se o metal de solda dentro do chanfro, ou seja, entre as peças metálicas. No caso da solda de filete, esse metal é depositado nas laterais das peças. Em soldas de tampão e de ranhura aplica-se esse metal de solda em orifícios circulares ou alongados.

Devido a pouca preparação do material, segundo Bellei (1998), a solda mais usada e mais econômica para cargas de pouca intensidade é a solda de filete. Já para cargas de maior intensidade, as soldas de entalhe, de penetração parcial ou total, são as mais adequadas porque possuem maior resistência, com menores volumes de solda.

A solda de ranhura ou tampão se aplica somente a casos particulares, onde a solda de filete ou entalhe não são adequadas.

### 3 TEORIA DO DIMENSIONAMENTO

Um bom dimensionamento de uma ligação soldada evita gastos onerosos e reduz o surgimento de falhas, muitas vezes catastróficas. Contudo, ligações soldadas, assim como toda estrutura também sofrem com as ações dos carregamentos variáveis e carregamentos permanentes. Dado isso, em decorrência da ausência de cálculos mais precisos sobre o que de fato acontece na solda e da improbabilidade de acrescentar todos os fatores que interferem na qualidade da ligação, os coeficientes de segurança são elevados para dessa forma, garantir a estabilidade da estrutura. Na tabela 2 são dados os coeficientes de ponderação em relação ao carregamento variável para os principais tipos de juntas soldadas. Já a tabela 3 apresenta os valores dos coeficientes de ponderação das ações permanentes em relação às combinações de ações de serviço.

**Tabela 2 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações variáveis**

Tipo de solda	$k_f$
Solda de topo com reforço	1,2
Cordões transversais- incluem flexão e torção	1,5
Extremidade de cordões paralelos	2,7
Soldas de topo e em ‘T’ com cantos agudos	2,0

Fonte: SANTOS JUNIOR, 2001.

**Tabela 3 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações permanentes**

Combinações	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos
Normais	1,25	1,30	1,35	1,40	1,50
Especiais ou de construção	1,15	1,20	1,25	1,30	1,40
Excepcionais	1,10	1,15	1,15	1,20	1,30

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

A NBR 8800 (ABNT, 2008) estabelece também os coeficientes de ponderação das resistências do aço estrutural em relação a algumas combinações descritas na tabela 4 a seguir. Neste caso, definem-se dois coeficientes:  $\gamma_{a1}$  que se refere a estados-limites últimos relacionados ao escoamento, flambagem e instabilidade e o  $\gamma_{a2}$  relacionado à ruptura.

**Tabela 4 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências  $\gamma_a$**

Combinações	Aço estrutural	
	$\gamma_a$	
	Escoamento, flambagem e instabilidade $\gamma_{a1}$	Ruptura $\gamma_{a2}$
Normais	1,10	1,35
Especiais ou de construção	1,10	1,35
Excepcionais	1,00	1,15

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

A tabela 5 mostra a resistência ao escoamento  $f_y$  e a resistência à ruptura  $f_u$  de alguns aços-carbono, que são utilizadas nos cálculos do dimensionamento das soldas.

**Tabela 5 – Resistência de alguns aços-carbono**

Tipo de aço	$f_y$ (Mpa)	$f_u$ (Mpa)
ASTM-A36	250	400
ASTM-A570 (gr. 36)	250	365
NBR 6648/CG-26	255*	410*
ASTM-A572 (gr. 50)	345	450
NBR 6650/CF-24	240	370
MR-250	250	400

\*Válido para espessuras  $t \leq 16$  mm

Fonte: RODRIGUES, 2010.

A resistência mínima a tração do metal da solda ( $f_w$ ) é dada pela tabela 6, que é utilizada para cálculo das forças de resistência das soldas.

**Tabela 6 – Resistência à tração do metal da solda**

Metal da solda	$f_w$ MPa
Todos os eletrodos com classe de resistência 6 ou 60	415
Todos os eletrodos com classe de resistência 7 ou 70	485
Todos os eletrodos com classe de resistência 8 ou 80	550

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Quanto ao metal base há algumas exigências a serem seguidas, pois há um tipo de metal de solda pra cada metal-base. Na figura 13 estão expostos alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados.

**Figura 13 – Compatibilidade do metal-base com o metal da solda <sup>a, b</sup>**

	Metal-base		Metal da solda compatível			
	ABNT	ASTM	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	Arco submerso (SAW)	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)
<b>Grupo I</b>	NBR 6648 (CG-26 - $r \leq 20$ mm) NBR 6649 (CF-26) NBR 6650 (CF-26) NBR 7007 (MR 250 - $r \leq 19$ mm)	A36 ( $r \leq 19$ mm) A500 Grau A A500 Grau B	AWS A5.1 - E60XX, E70XX  AWS A5.5 <sup>e</sup> - E70XX-X	AWS A5.17 - F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX  AWS A5.23 <sup>e</sup> - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS)  AWS A5.28 <sup>e</sup> - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E6XT-X, E6XT-XM, E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm)  AWS A5.29 <sup>e</sup> - E6XTX-X, E6XT-XM, E7XTX-X, E7XTX-XM
<b>Grupo II</b>	NBR 5000 (G-30) NBR 5000 (G-35) NBR 5004 (F-32/Q-32) NBR 5004 (F-35/Q-35) NBR 5004 (Q-40) NBR 5008 (CGR 400) <sup>d</sup> NBR 5008 (CGR 500) <sup>d</sup> NBR 5008 (CGR 500A) <sup>d</sup> NBR 5920 (CFR 500) <sup>d</sup> NBR 5921 (CFR 400) <sup>d</sup> NBR 5921 (CFR 500) <sup>d</sup> NBR 6648 (CG-26 - $r > 19$ mm) NBR 6648 (CG-28) NBR 6649 (CF-28) NBR 6650 (CF-28) NBR 6650 (CF-30) NBR 7007 (MR 250 - $r > 19$ mm) NBR 7007 (AR-350) NBR 7007 (AR-350 COR) NBR 8261 (Graus B e C)	A36 ( $r > 19$ mm) A242 <sup>d</sup> A572 Grau 42 A572 Grau 50 A572 Grau 55 A992 A588 <sup>d</sup>	AWS A5.1 - E7015, E7016, E7018, E7028  AWS A5.5 <sup>e</sup> - E7015-X, E7016-X, E7018-X	AWS A5.17 - F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX  AWS A5.23 <sup>e</sup> - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS)  AWS A5.28 <sup>e</sup> - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm)  AWS A5.29 <sup>e</sup> - E7XTX-X, E7XTX-XM
<b>Grupo III</b>	NBR 5000 (G-42) NBR 5000 (G-45) NBR 5004 (Q-42) NBR 5004 (Q-45) NBR 7007 (AR-415)	A572 Grau 60 A572 Grau 65 A913 <sup>c</sup>	AWS A5.5 <sup>e</sup> - E8015-X, E8016-X, E8018-X	AWS A5.23 <sup>e</sup> - F8XX-EXXX-XX, F8XX-ECXXX-XX	AWS A5.28 <sup>e</sup> - ER80S-XXX, E80C-XXX	AWS A5.29 <sup>e</sup> - E8XTX-X, E8XTX-XM

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

A figura 14 trás as notas explicativas em relação à figura 13 anterior:

**Figura 14 – Notas explicativas**

<sup>a</sup> Em juntas constituídas de metais-base de grupos diferentes, podem ser usados metais da solda compatíveis com o metal-base de maior resistência ou de menor resistência, devendo-se usar eletrodos de baixo hidrogênio para a segunda opção. O preaquecimento deve ser baseado no grupo de maior resistência.
<sup>b</sup> Quando for feito alívio de tensões nas soldas, o metal da solda não pode conter mais de 0,05 % de vanádio.
<sup>c</sup> As limitações da AWS D1.1 relativas à entrada de calor não se aplicam ao ASTM A913, graus 60 e 65.
<sup>d</sup> Podem ser necessários processos e materiais de soldagem especiais (por exemplo: eletrodos de baixa liga E80XX-X) para atender às características de resistência à corrosão atmosférica e de resistência ao choque do metal-base - ver AWS D1.1.
<sup>e</sup> Metais de solda dos grupos B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, B9, ou qualquer grau BXH, na AWS A5.5, A5.23, A5.28 e A5.29, não são pré-qualificados.

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

### 3.1 SOLDA DE ENTALHE

Denomina-se solda de entalhe, quando é feito um espaço (chanfro) entre as peças a serem ligadas, o qual deve ser preenchido com metal de adição. Uma das primeiras coisas que devemos verificar quando falamos em solda é a determinação de suas áreas efetivas. As áreas efetivas são determinadas para que possamos estudar soldas tanto de penetração parcial como de penetração total. A NBR 8800 (ABNT, 2008) que é baseada na AWS- American Welding Society, mostra a espessura da garganta efetiva de soldas de penetração parcial, como é apresentado no quadro 1:

**Quadro 1 - Espessura da garganta efetiva de soldas de penetração parcial**

(continua)

Processo de soldagem	Posição de soldagem	Tipo de chanfro	Garganta efetiva
Arco elétrico com eletrodo revestido	Todas	J	Profundidade do chanfro
Arco elétrico com proteção gasosa	Todas	U	
Arco elétrico com fluxo no núcleo		V com ângulo de 60°	
Arco submerso	P	J U V ou bisel com ângulo de 60°	

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

**Quadro 1 - Espessura da garganta efetiva de soldas de penetração parcial**

(fim)			
Arco elétrico com fluxo no núcleo			
Arco elétrico com eletrodo revestido	Todas	Bisel com ângulo de 45°	Profundidade do chanfro menos 3 mm
Arco elétrico com proteção gasosa	V, S	Bisel com ângulo de 45°	
Arco elétrico com fluxo no núcleo			

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Também são aplicados os valores de espessura da garganta efetiva da solda em juntas de superfície curva, como mostra o quadro 2 a seguir, extraído da NBR 8800 (ABNT, 2008) conforme AWS:

**Quadro 2 - Espessura da garganta efetiva da solda em juntas de superfície curva**

Processo de soldagem	Espessura da garganta efetiva	
	Solda em bisel <sup>a, b</sup>	Solda em V <sup>a</sup>
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-G)	5R/16	5R/8
Arco submerso (SAW)	5R/16	R/2

<sup>a</sup>R é o raio da superfície da junta (pode ser assumido como igual a 2t para seção tubular retangular).  
<sup>b</sup> Para solda em bisel com R menor que 10 mm, deve ser usado adicionalmente um filete de reforço além da superfície nivelada da solda. Para efeito de cálculo, deve ser considerada apenas a garganta desse filete.

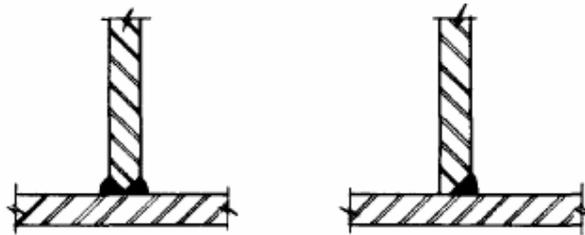
Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Em relação a soldas em superfícies curvas, de acordo com o Eurocode 3 (1993, *apud* VALENCIANI, 1997, p. 162), a espessura da garganta efetiva é estipulada através da

avaliação das soldas para cada agrupamento de procedimento de solda, que deve ser seccionada e medida de forma que se estabeleça a técnica de soldagem que vai assegurar que a garganta efetiva seja apanhada na produção.

A solda sem chanfro ou com chanfro reto é conceituada de penetração parcial porque ela é soldada por um lado somente, sem chapa de base. A figura 15 a seguir mostra exemplos de solda de penetração total e penetração parcial respectivamente.

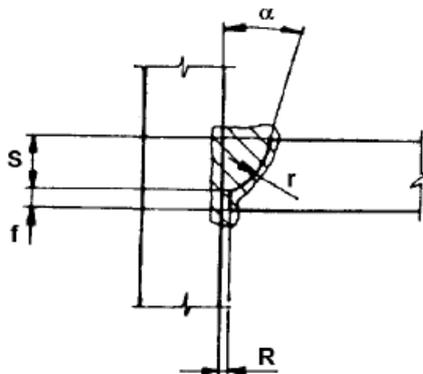
**Figura 15 - Solda de penetração total e solda de penetração parcial**



Fonte: IBS/CBCA, 2004.

A área efetiva é obtida através do produto do comprimento efetivo da solda pela espessura da garganta efetiva. Para penetração parcial a espessura efetiva da garganta é igual a espessura do chanfro, sendo que na penetração total essa espessura corresponde a da chapa de menor dimensão. Em casos de solda em chanfro, o comprimento real da solda ( $L$ ) deve corresponder à largura da peça ligada. A figura 16 mostra as definições para soldas em chanfro:

**Figura 16 - Definições para soldas em chanfro**



Fonte: Siderbras (1988, *apud* VALENCIANI, 1997).

São feitas as seguintes definições da figura 16 acima:

$\alpha$ =ângulo do chanfro;

S=profundidade do chanfro;

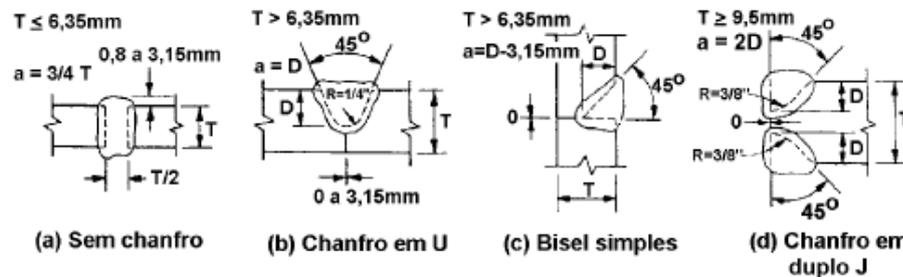
f=nariz do chanfro;

r=raio do chanfro;

R=abertura da raiz.

A figura 17 mostra alguns exemplos de garganta efetiva em solda de penetração parcial:

**Figura 17 - Exemplos de garganta efetiva em soldas de penetração parcial executadas pelos processos SMAW**



Fonte: Gaylord (1992, *apud* VALENCIANI, 1997).

Em relação ao tipo de chanfro, sua escolha é dada através de alguns fatores como: o tipo de junta; o material base; a espessura; o processo de soldagem a ser utilizado; a possibilidade de se ligar a dois lados da junta; a posição da soldagem e quais as características que se pretende ter na junta.

Bellei (1998) apresenta uma tabela que foi extraída da NBR 8800 (ABNT, 2008), com as espessuras mínimas da garganta de solda de acordo com a espessura da chapa mais grossa, conforme disposto na tabela 7 abaixo:

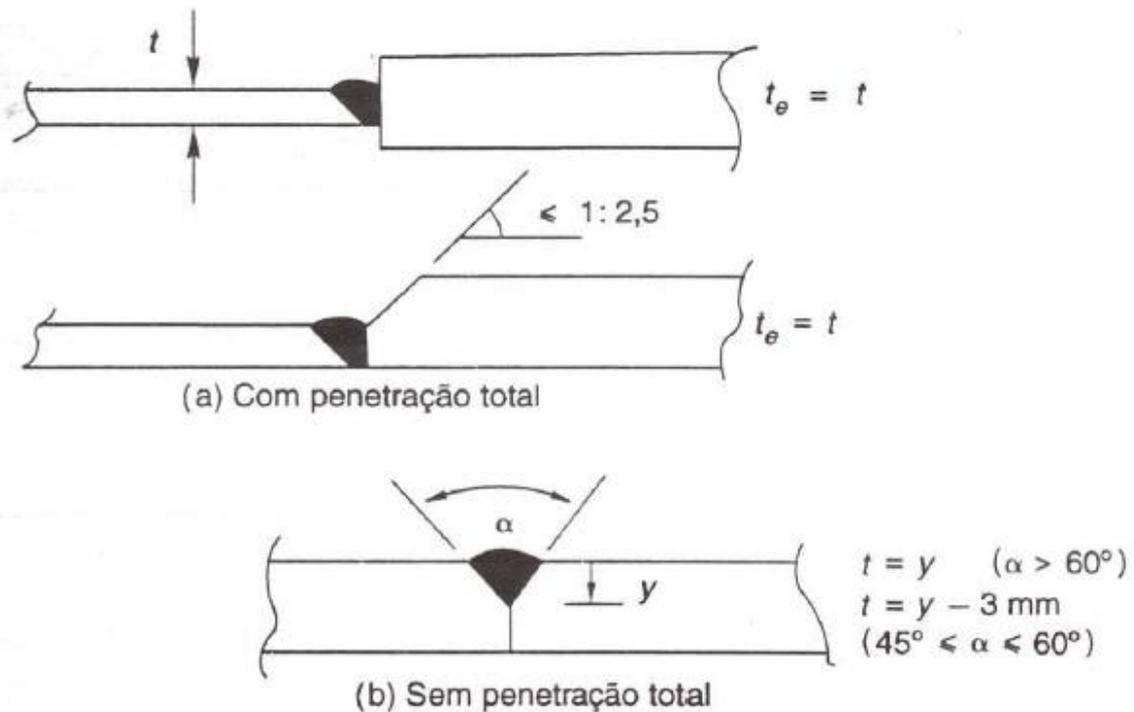
**Tabela 7 - Espessura mínima de garganta efetiva de uma solda de entalhe de penetração parcial (mm)**

Maior espessura do metal base na junta (mm)	Espessura mínima da garganta efetiva (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: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Segundo Pfeil (2009), quando é feita a penetração parcial com chanfro em bisel, a espessura efetiva ( $t_e$ ) é igual à profundidade do entalhe ( $y$ ) menos 3 mm, porém é somente quando o ângulo da raiz do entalhe estiver entre  $45^\circ$  e  $60^\circ$ . Já para ângulos maiores que  $60^\circ$  em chanfros em V ou bisel, e em soldagens com proteção gasosa ou com fluxos no núcleo em posições planas e horizontais, a espessura efetiva é igual a profundidade do entalhe ( $t_e=y$ ). Chanfros em J ou U, essa espessura será igual a profundidade do chanfro. Quando a parte mais saliente da peça mais espessa for maior que 10 mm deve-se chanfrar as ligações de topo de chapas com espessuras diferentes. Eurocode 3 (1993, *apud* VALENCIANI, 1997, p. 162), define que a garganta efetiva realizada pela penetração parcial com chanfro em U, V, J e bisel deve ser a profundidade do entalhe menos 2 mm, á não ser que algum ensaio comprove outro valor maior. A figura 18 indica emendas de entalhe com chanfro em bisel ou em V:

**Figura 18 - Emendas de entalhe com chanfro em bisel ou em V. Espessuras efetivas da solda  $t_e$ , (garganta de solda)**



Fonte: PFEIL, 2009.

O quadro 3 indica a força resistente de cálculo de soldas ( $F_{w,Rd}$ ), sendo que a área efetiva da solda ( $A_w$ ) é dada pelo produto da espessura efetiva ( $t_e$ ) pelo comprimento efetivo ( $l$ ) e a área do metal-base ( $A_{MB}$ ) é o produto do comprimento da solda pela espessura do metal-base menos espesso. A menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta é  $f_y$  e a resistência mínima á tração do metal que será utilizado na execução da solda é  $f_w$ .

**Quadro 3 - Força resistente de cálculo de soldas de entalhe**

Tipo de solda	Tipo de sollicitação e orientação	Força resistente de cálculo $F_{w,Rd}$
Penetração total	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não precisa ser considerado
	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: $0,60 * A_{MB} * f_y / \gamma_{a1}$
Penetração parcial	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	O menos dos dois valores: a) Metal-base: $A_{MB} * f_y / \gamma_{a1}$ b) Metal da solda: $0,60 * A_w * f_w / \gamma_{w1}$
	Cisalhamento paralelo ao eixo da solda, na seção efetiva	Metal da solda: $0,60 A_w * f_w / \gamma_{w2}$

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Em relação aos coeficientes de ponderação, usam-se as especificações da tabela 2, 3 e 4. Já se tratando da compatibilidade do metal-base com o metal de solda utiliza-se conforme a figura 13. A resistência mínima a tração é dada de acordo com o eletrodo utilizado na solda, conforme tabela 6.

Segundo Pfeil (2009), as soldas de entalhe de penetração total submetida a tensões de tração ou compressão perpendiculares ao eixo da solda podem ser calculadas pela expressão abaixo:

$$F_{w,Rd} = A_{MB} * f_y / \gamma_{a1} \quad (1)$$

Pfeil (2009) também determina que para soldas de entalhe de penetração parcial sujeita a tração ou compressão perpendiculares ao eixo da solda é obtido pelo menor valor entre as fórmulas abaixo (metal base e metal da solda), onde  $\gamma_{w1}$  é 1,25 para combinações normais e combinações especiais ou de construção e 1,05 para combinações excepcionais de ações.

➤ Metal-base:

$$F_{w,Rd} = A_{MB} * f_y / \gamma_{a1} \quad (2)$$

- Metal da solda:

$$F_{w, Rd} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_w / \gamma_{w1} \quad (3)$$

De acordo com Pfeil (2009) quando as tensões de tração e compressão estão paralelas ao eixo da solda tanto de penetração total como parcial não é preciso verificar a resistência. Já para tensões de cisalhamento, as tensões agindo em direções adversas são combinadas vetorialmente. Portanto, a resistência do projeto é obtida pelas expressões a seguir, sendo que  $\gamma_{w2}$  será igual a 1,35 para combinações normais e especiais ou de construção e 1,15 para combinações excepcionais de ações.

- Penetração total: Metal-base

$$F_{w, Rd} = A_{MB} (0,60 \cdot f_y) / \gamma_{a1} \quad (4)$$

- Penetração parcial: Metal da solda

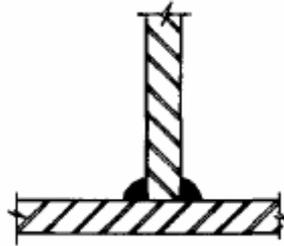
$$F_{w, Rd} = A_w (0,60 \cdot f_w) / \gamma_{w2} \quad (5)$$

A solda de entalhe ligando os elementos componentes de perfis soldados (mesas e almas) pode ser calculada sem levar em consideração as tensões de tração ou de compressão nesses elementos, paralelas ao eixo da solda. Porém devem ser consideradas as tensões de cisalhamento provocadas pelas forças cortantes e os efeitos locais.

### 3.2 SOLDA DE FILETE

A solda de filete é a mais usada nas construções soldadas e geralmente é mais econômica do que a de entalhe, justamente por não necessitar do chanfro. Porém, vai depender de cada caso a necessidade de uma solda de filete, de entalhe ou qualquer outra. De acordo com Siderbrás (1980, *apud* VALENCIANI, 1997, p. 89), as soldas de filete tem uma melhor qualidade, menor consumo de eletrodos, melhor penetração e melhor fluxo de tensões, apesar de ter um trabalho mais árduo. A figura 19 abaixo mostra um exemplo desse tipo de solda:

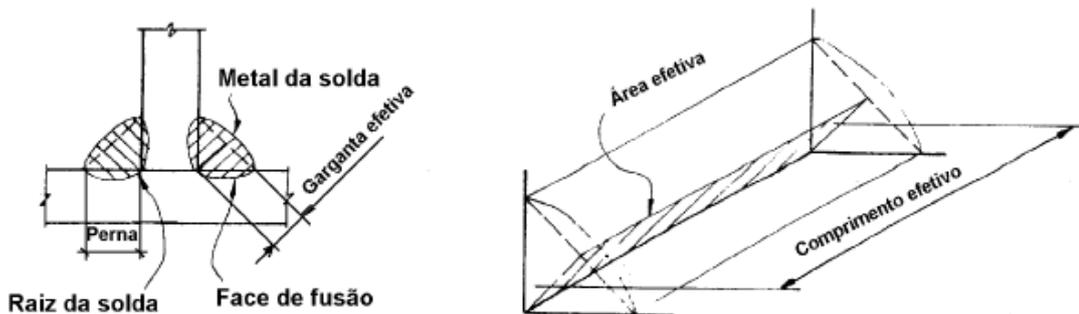
**Figura 19 - Solda de filete**



Fonte: IBS/CBCA, 2004.

Podem ser feitas em chapas sobrepostas, ortogonais e não ortogonais e as soldas podem ser convexa, plana ou côncava. Para efeito de cálculos, a seção transversal dos cordões de solda em filetes é considerada como um triângulo retângulo. A figura 20 mostra as definições para filetes de solda:

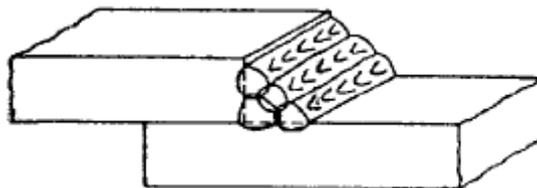
**Figura 20 - Definições para filetes de solda**



Fonte: Siderbras (1988, *apud* VALENCIANI, 1997).

Filetes de solda mais eficientes são executados em apenas um passe, entretanto quando se vê a necessidade de executar grandes filetes, devem ser feitos em dois ou mais passes. A figura 21 mostra uma solda de filete executada com múltiplos passes:

**Figura 21 – Solda de filete com múltiplos passes**



Fonte: Gaylord (1992, *apud* VALENCIANI, 1997).

São feitas algumas definições para a solda de filete: a face de fusão é a região da superfície original do metal base que ocorreu a fusão do metal-base e do metal da solda, raiz

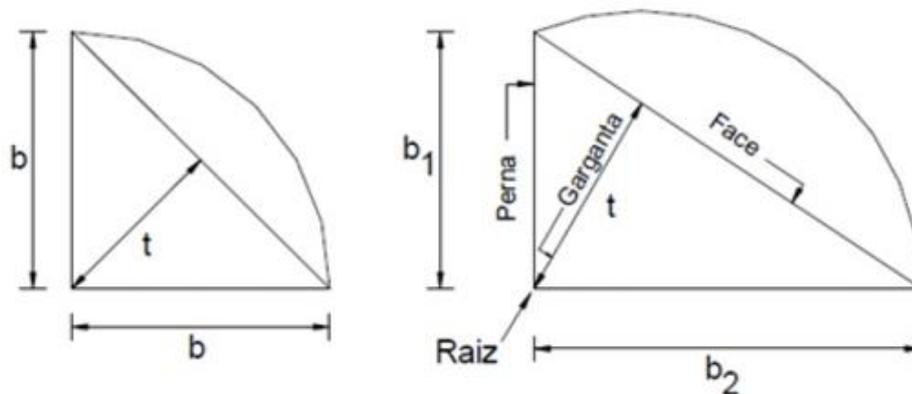
da solda é a linha comum às duas faces de fusão, perna do filete é o menor lado medido na face de fusão do maior triângulo inscrito dentro da seção transversal da solda, garganta efetiva é a distância mais curta entre a raiz da solda e a hipotenusa desse triângulo, comprimento efetivo da solda é o comprimento da linha que une os pontos médios das gargantas efetivas ao longo do filete, área efetiva é a área considerada como resistência da solda (comprimento efetivo vezes garganta efetiva), área teórica da face de fusão é a área considerada como de resistência no metal base junto á solda (perna do filete vezes comprimento efetivo).

Os filetes são obtidos através do comprimento de seus lados que podem ser iguais ou não, mas na maioria dos casos são iguais. Para calcular a área efetiva para cálculo de um filete de solda de lados iguais é:

$$t * l = 0,7 * b * l \quad (6)$$

A figura 22 mostra uma seção transversal dos cordões de solda e algumas definições para cálculo:

**Figura 22 - Filete de solda. Seção real e seção teórica da solda**



Fonte: PFEIL, 2009.

$$t = \frac{b_1 * b_2}{\sqrt{(b_1^2 + b_2^2)}} \quad (7)$$

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008) tem-se mais autonomia na decisão da garganta efetiva quando há maior penetração da solda de filete acometida a arco submerso. Além disso, Rodrigues (2010) recomenda que se utilize o arco submerso em solda de filete por ser mais confiável. Sendo assim considera-se:

$$b \leq 9,5 \text{ mm} \qquad t_e = b \qquad (8)$$

$$b > 9,5 \text{ mm} \qquad t_e = t + 2,8 \text{ mm} \qquad (9)$$

Segundo o Eurocode 3 (1993, *apud* VALENCIANI, 1997, p. 161), a garganta efetiva não deve ser inferior á 3 mm e quando utilizado o processo a arco submerso esse valor pode ser aumentado em 20% ou 2 mm, o que for menor.

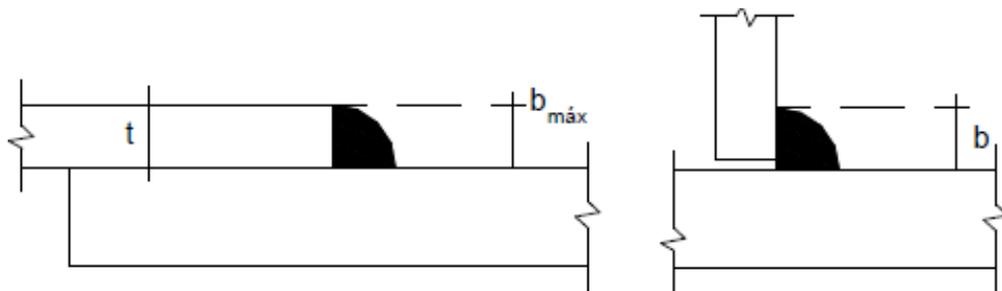
O comprimento efetivo só não será o comprimento total da solda quando os filetes longitudinais de peça estiverem sob esforço axial. Nesse caso, como diz a NBR 8800 (ABNT, 2008) o comprimento efetivo deve ser a multiplicação do comprimento total da solda pelo fator de redução  $\beta$  que é dado por:

$$\beta = 1,2 - 0,002 * (l_w/b_w) \qquad 0,6 \leq \beta \leq 1,0 \qquad (10)$$

➤  $l_w$  é o comprimento total da solda e  $b_w$  é o tamanho da perna do filete de solda.

Observe a figura 23 abaixo em que mostra as dimensões máximas de solda de filete. Com isso, pode-se prevenir a fusão do metal base no local onde o filete encontra o canto da chapa, se o filete for feito na espessura total dela.

**Figura 23 - Dimensões máximas dos lados de filetes de solda**



Fonte: PFEIL, 2009.

$$t < 6,3 \text{ mm} \qquad b_{max} = t \qquad (11)$$

$$t \geq 6,3 \text{ mm} \qquad b_{max} = t - 1,5 \text{ mm} \qquad (12)$$

$$b_{max} = \text{não especificado} \qquad (13)$$

Para certificar a fusão e minimizar a distorção, a NBR 8800 (ABNT, 2008) provê as mínimas dimensões das pernas dos filetes que devem ser obtidas através da maior espessura

das chapas. A tabela 8 a seguir mostra as dimensões mínimas para a perna de filete de solda, que é o menor lado medido na face da fusão, do maior triângulo inscrito dentro da seção transversal da solda:

**Tabela 8 – Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete**

Menor espessura do metal-base na junta (mm)	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, $b_w^a$ (mm)
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,34 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

<sup>a</sup>Executadas somente com um passe.

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

A limitação da solda de filete é 8 mm devido ao processo SMAW, por ser o maior filete que pode ser depositado em um único passe.

Em soldas de filete é muito comum a incidência de descontinuidades durante o resfriamento e a contração da poça de solda, ou seja, defeitos nas extremidades inicial e final. É por essas questões que normas fazem a definição do comprimento efetivo do filete como sendo o real, reduzindo uma parte da extremidade do cordão de solda.

Conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008), o comprimento efetivo não pode ser menor que 4 vezes o tamanho da perna e nem inferior a 40 mm. O seu máximo valor rogado por forças paralelas á solda não pode ir além de 70 vezes a perna do filete.

Para que a rotação resultante na ligação não se acentue quando for tracionada, o cobrimento mínimo em ligação de solda por sobreposição precisa ser igual a 5 vezes a espessura da parte ligada menos espessa e não inferior a 25 mm, consoante a NBR 8800 (ABNT, 2008).

A NBR 8800 (ABNT, 2008) menciona que para soldas de filete utilizam-se os ângulos de 60° á 120° entre as faces de fusão. Caso seja empregado outro ângulo, não se considera como sendo uma solda estrutural, pois se torna inadequada em termos de transmissão de esforços. Porém conforme o Eurocode 3 (1993, *apud* VALENCIANI, 1997, p. 169), em soldas de filete é permitido a utilização de ângulos menores do que 60°, mas considerando como solda em chanfro de penetração parcial.

O quadro 4 mostra a força de resistência de cálculo para esse tipo de solda de filete:

**Quadro 4- Força resistente de cálculo de soldas de filete**

Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo $F_{w,Rd}$
Filete	Tração ou compressão ao eixo da solda	Não precisa ser considerado
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzem tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas)	Metal de solda: $0,60 \cdot A \cdot f_w / \gamma_{w2}$

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Em relação aos coeficientes de ponderação, usam-se as especificações da tabela 2, 3 e 4. Além disso, se tratando da compatibilidade do metal-base com o metal de solda usa-se também conforme a figura 13. A resistência mínima a tração é dada de acordo com o eletrodo utilizado na solda, conforme tabela 6.

Para fazer a verificação estrutural da solda de filete, deve-se obtê-la através do menor valor do metal-base e o metal da solda.

➤ Metal-base

$$A_m = b \cdot l \quad (14)$$

$$F_{w, Rd} = A_m (0,6 \cdot f_y) / \gamma_{a1} \quad (15)$$

➤ Metal da solda

$$A_w = t \cdot l = 0,7 \cdot b \cdot l \quad (16)$$

$$F_{w, Rd} = 0,75 \cdot A_w (0,6 \cdot f_w) \quad (17)$$

Pfeil (2009) diz que quando esforços de compressão e tração atuam na direção paralela ao eixo longitudinal da solda não é necessário considera-los para se obter o cálculo da

resistência de filete. Já esforços solicitantes em direções perpendiculares ao eixo longitudinal são considerados como esforços cisalhantes. A resistência de cálculo é obtida através da expressão abaixo como já mostrado no quadro 4.

(18)

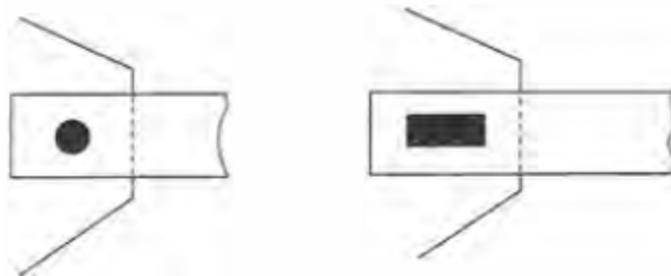
$$F_{w,Rd} = A_w (0,60 * f_w) / \gamma_{w2}$$

Assim como nas soldas de entalhe, as soldas de filete ligando os elementos componentes de perfis soldados (mesas e almas) podem ser calculadas sem levar em consideração as tensões de tração ou de compressão nesses elementos, paralelas ao eixo da solda. Porém devem ser consideradas as tensões de cisalhamento provocadas pelas forças cortantes e os efeitos locais.

### 3.3 SOLDA DE TAMPÃO

A NBR 8800 (ABNT, 2008), no que se trata de solda de tampão que é feita em furos circulares ou em rasgos, a sua área efetiva deve ser igual a área nominal da seção transversal do furo ou rasgo no plano das superfícies em contato. Além disso, a NBR 8800 (ABNT, 2008) especifica que quando utilizado dois ou mais tipos de processos de solda, a resistência de cálculo de cada um desses tipos deve ser estabelecida separadamente e depois relacionado ao eixo do grupo para a determinação da resistência de cálculo da combinação. A figura 24 esquematiza uma solda de tampão circular e uma solda de tampão alongado, respectivamente:

**Figura 24 - Solda de tampão, circular e alongado.**



Fonte: PFEIL, 2009.

Na solda de tampão feita em furos evidencia-se que o diâmetro dos furos não pode ser menor que a espessura da parte que contem acrescentado de 8 mm e nem mesmo superior que 2,25 vezes a espessura da solda. A distância de centro a centro recomenda-se que seja igual ou superior a 4 vezes o diâmetro do furo. Já em soldas de tampão em rasgos, o comprimento não deverá ser maior que 10 vezes a espessura da solda e a largura dos rasgos não se aplica sendo inferior a parte que tem acrescida de 8 mm e nem maior que 2,25 vezes que a espessura da solda. O espaçamento entre as linhas de centro dos rasgos medido transversalmente indica que deve ser maior ou igual a 4 vezes a largura desse rasgo. A distância do centro do rasgo até o outro centro tem que ser igual ou maior que 2 vezes o comprimento do rasgo nesse caso. Tudo isto segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008).

As margens dos rasgos devem ter uma forma semicircular ou então ter as extremidades arredondadas de raio no mínimo a espessura da parte que o contém, a não ser em cantos que se estendem até a borda do elemento. Quando o material em que será utilizado para solda de tampão for igual ou menor a 16 mm ou então pelo menos a metade da espessura do mesmo.

O diâmetro do furo circular ou a largura do rasgo não deve ser inferior que 4 vezes a espessura da parte que o contém, segundo o Eurocode 3 (1993, *apud* VALENCIANI, 1997, p. 170). Além disso, segundo o mesmo, a resistência de cálculo é avaliada da mesma forma que a solda de filete.

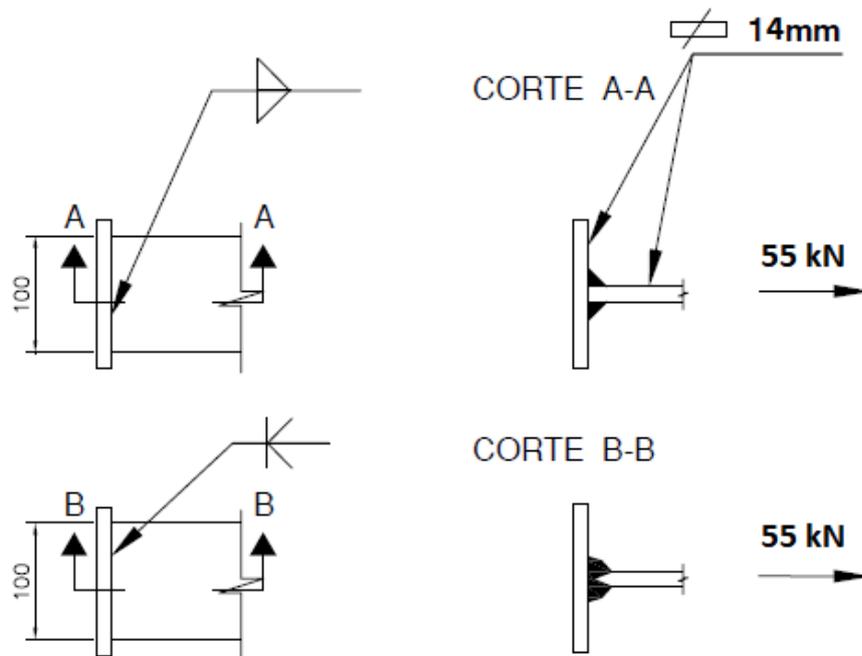
## 4 EXEMPLOS NUMÉRICOS DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES SOLDADAS

### 4.1 EXEMPLO 1

Uma força de tração axial de 55 kN está sobre uma chapa de aço de 14 mm de espessura e está unida a uma placa que tem a mesma espessura, gerando um perfil em 'T' através da solda, conforme figura 25. Dimensione essa solda utilizando eletrodo E60, aço ASTM A36 e admitindo carga variável, nas seguintes situações:

- Solda de filete (corte A-A)
- Solda de penetração total (corte B-B)

Figura 25 - Exemplo 1



Fonte: RODRIGUES, 2010.

### Resolução:

- Esforço solicitante de projeto:

De acordo com a tabela 2, o valor do coeficiente de ponderação da carga variável para um cordão de solda transversal é 1,5:

$$S_d = 1,5 * 55 = 82,5 \text{ kN}$$

a) Dimensionamento da solda de filete:

➤ Disposições construtivas:

Como  $t \geq 6,3 \text{ mm}$ ,  $b_{\text{máx}} = t - 1,5 \text{ mm}$ .

$b_{\text{min}} = 6 \text{ mm}$

$b_{\text{máx}} = 14 \text{ mm} - 1,5 \text{ mm} = 12,5 \text{ mm}$ .

Como o comprimento efetivo não pode ser menor que 4 vezes o valor nominal e nem inferior que 40 mm:

$4 * 6 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$

$24 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \geq 40 \text{ mm}$ , portanto, ok!

De acordo com a tabela 8, o tamanho mínimo para a perna do filete de solda é  $b = 6 \text{ mm}$ , dado em relação a menor espessura do metal base. Para o aço A36, a resistência ao escoamento  $f_y$  é de  $250 \text{ MPa}$ , conforme tabela 5. A resistência mínima a tração do metal da solda ( $f_w$ ) dada em função do eletrodo E60 é  $415 \text{ MPa}$ , segundo a tabela 6.

Metal base:  $F_{w, Rd} = A_{MB}(0,6 * f_y) / \gamma_{a1}$

$F_{w, Rd} = (2 * 10 * 0,6)(0,6 * 25) / 1,1 \rightarrow F_{w, Rd} = 163,64 \text{ kN}$

Metal da solda:  $F_{w, Rd} = 0,75 * A_w(0,6 * f_w)$

$F_{w, Rd} = 0,75(0,7 * 2 * 10 * 0,6)(0,6 * 41,5) \rightarrow F_{w, Rd} = 156,87 \text{ kN}$

Portanto,  $F_{w, Rd} = 156,87 \text{ kN} > S_d = 82,5 \text{ kN}$ , logo, atende as especificações!

b) Dimensionamento da solda de penetração total:

Dado  $f_y = 250 \text{ MPa}$  (tabela 5):

$F_{w, Rd} = (A_{MB} * f_y) / \gamma_{a1}$

$F_{w, Rd} = (10 * 1,4)25 / 1,1 \rightarrow F_{w, Rd} = 318,18 \text{ kN}$

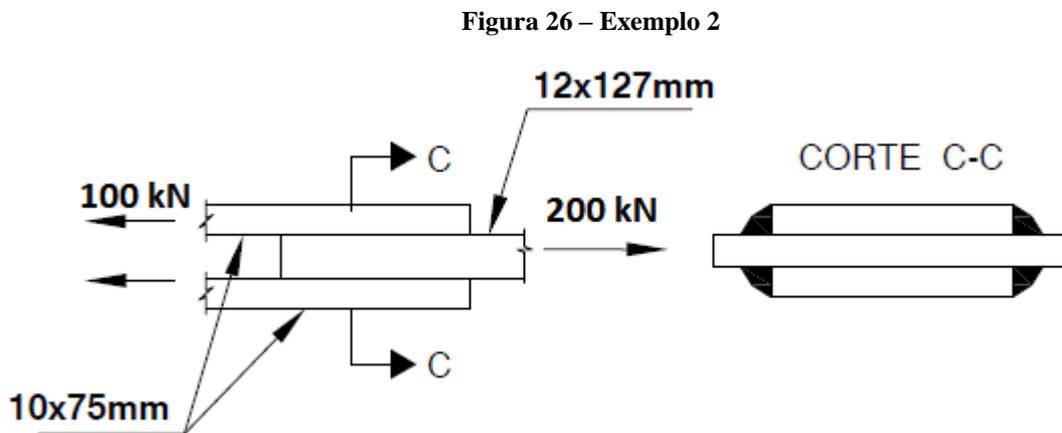
Portanto,  $F_{w, Rd} = 318,18 \text{ kN} > S_d = 82,5 \text{ kN}$ , logo, atende as especificações!

➤ Análise dos resultados:

Nesse caso simples de uma ligação soldada tracionada, a solda de penetração total oferece uma margem de segurança maior do que a solda de filete, o que não impede que a de filete seja usada, pois ela também passou na verificação.

#### 4.2 EXEMPLO 2

Qual o comprimento necessário e a espessura (perna) da solda de filete para a ligação a seguir da figura 26? Sendo aço ASTM A36 e eletrodo E60 e considerando o esforço solicitante como variável.



Fonte: RODRIGUES, 2010.

#### **Resolução:**

➤ Esforço solicitante de projeto:

De acordo com a tabela 2, o valor do coeficiente de ponderação da carga variável para um cordão de solda transversal é 1,5:

$$S_d = 1,5 * 200 = 300 \text{ kN}$$

➤ Disposições construtivas:

Como  $t \geq 6,3 \text{ mm}$ ,  $b_{máx} = t - 1,5 \text{ mm}$ .

$$b_{min} = 5 \text{ mm}$$

$$b_{máx} = 12 \text{ mm} - 1,5 \text{ mm} = 10,5 \text{ mm}.$$

Se tratando de soldas de filete longitudinal nas ligações extremas de elementos axialmente solicitados, o comprimento efetivo deve ser tomado como o comprimento total da solda multiplicado pelo fator de redução  $\beta$ :

$$\beta = 1,2 - 0,002 * (l_w / b_w)$$

$$\beta = 1,2 - 0,002 * (100 / 5)$$

$$\beta = 1,16, \text{ portanto se utiliza } 1,0, \text{ pois } 0,6 \leq \beta \leq 1,0.$$

$$l_{total} = \beta * l_w$$

$$l_{total} = 1,0 * 100 = 100 \text{ mm.}$$

De acordo com a tabela 8, o tamanho mínimo para a perna do filete de solda é  $b = 5$  mm, dado em relação a menor espessura do metal base. Para o aço A36, a resistência ao escoamento  $f_y$  é de  $250 \text{ MPa}$ , conforme tabela 5. A resistência mínima a tração do metal da solda ( $f_w$ ) dada em função do eletrodo E60 é  $415 \text{ MPa}$ , segundo a tabela 6.

$$\text{Metal base: } F_{w, Rd} = A_{MB} (0,6 * f_y) / \gamma_{a1}$$

$$F_{w, Rd} = (4 * l * 0,5) (0,6 * 25) / 1,1 \rightarrow F_{w, Rd} = 27,27 * l$$

$$\text{Metal da solda: } F_{w, Rd} = 0,75 * A_w (0,6 * f_w)$$

$$F_{w, Rd} = 0,75 (0,7 * 4 * l * 0,5) (0,6 * 41,5) \rightarrow F_{w, Rd} = 26,1 * l$$

$$F_{w, Rd} > S_d, \text{ portanto: } 26,1 * l > 300 \square l > 11,49 \text{ cm} \rightarrow \text{Adota-se } l = 120 \text{ mm.}$$

Como o comprimento efetivo não pode ser menor que 4 vezes o valor nominal e nem inferior que 40 mm:

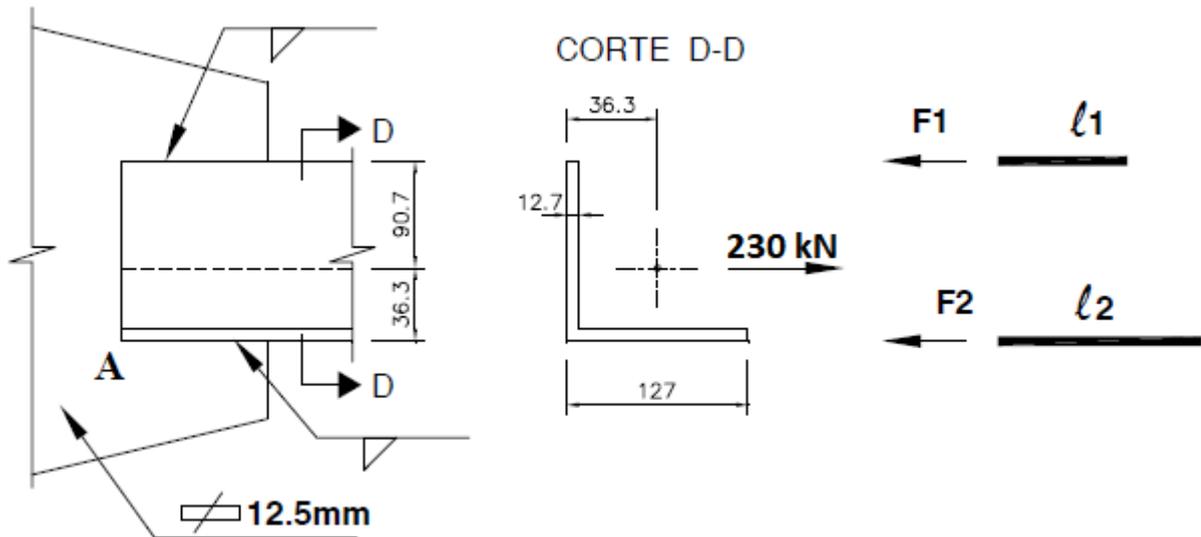
$$4 * 5 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$$

$$20 \text{ mm} < 120 \text{ mm} \geq 40 \text{ mm}, \text{ portanto, ok!}$$

#### 4.3 EXEMPLO 3

Calcular a ligação de uma placa de *gusset* com um perfil  $L 127 \times 24,1 \text{ kg/m}$ , conforme figura 27, submetido a tração axial permanente (peso próprio de estruturas pré-moldadas). O aço utilizado é o MR250 e o eletrodo E70.

Figura 27 – Exemplo 3



Fonte: RODRIGUES, 2010.

### Resolução:

Para que não surjam efeitos de flexão na ligação soldada e no perfil, os esforços que são desenvolvidos na solda tem resultante passando pelo centro de gravidade do perfil 'L'.

Para determinação das forças  $F_1$  e  $F_2$  que atuam na solda será utilizada a equação de equilíbrio de momento em relação ao ponto A.

$$\sum M_{I_2} = 0$$

$$F_1 * 12,7 - 230 * 3,63 = 0 \rightarrow F_1 = 65,74 \text{ kN}$$

$$\sum F_H = 0$$

$$F - F_1 - F_2 = 0 \rightarrow 230 - 65,74 - F_2 = 0 \rightarrow F_2 = 164,26 \text{ kN}$$

➤ Esforço solicitante de projeto:

De acordo com a tabela 3, o valor do coeficiente de ponderação da carga permanente (peso próprio de estruturas pré-moldadas) é 1,3:

$$S_d = 1,3 * 65,74 = 85,46 \text{ kN}$$

O perfil 'L' e a cantoneira tem a mesma espessura que é de 12,7 mm, portanto segundo a tabela 8 a perna mínima de filete é  $b=6$  mm. Para o aço MR250, a resistência ao escoamento  $f_y$  é de 250 MPa, conforme tabela 5. A resistência mínima a tração do metal da solda ( $f_w$ ) dada em função do eletrodo E70 é 485 Mpa, segundo a tabela 6.

$$\text{Metal base: } F_{w, Rd} = A_{MB}(0,6 * f_y) / \gamma_{a1}$$

$$F_{w, Rd} = (l_1 * 0,6)(0,6 * 250) / 1,1 \rightarrow F_{w, Rd} = 8,18 * l_1$$

$$\text{Metal da solda: } F_{w, Rd} = 0,75 * A_w(0,6 * f_w)$$

$$F_{w, Rd} = 0,75(0,7 * l_1 * 0,6)(0,6 * 485) \rightarrow F_{w, Rd} = 9,2 * l_1$$

$$F_{w, Rd} > S_d, \text{ portanto: } 8,18 * l_1 > 85,46 \square l_1 > 10,45 \text{ cm} \rightarrow \text{Adota-se } l = 110 \text{ mm.}$$

$$l_2 = (F_2 / F_1) * l_1 \rightarrow l_2 = (164,6 / 65,74) * 10,45 \rightarrow l_2 = 26,16 \text{ mm} \rightarrow \text{Adota-se } l = 270 \text{ mm.}$$

## 5 PATOLOGIAS EM LIGAÇÕES SOLDADAS

Tal como já foi apontado, uma ligação soldada quando executada corretamente, apresenta as mesmas propriedades do metal base, ou seja, ela é projetada para possuir resistência igual ou até mesmo maior do que o restante da peça onde não há soldas. Dessa forma, é pouco provável que a parte soldada entre em colapso antes do metal base. Sendo assim, as patologias nas juntas soldadas surgem geralmente devido a má execução do procedimento de soldagem, podendo ser evitadas através do cuidado e controle durante sua execução.

Segundo Castro (1999), os defeitos decorrentes em ligações soldadas podem ser divididos em dois grupos, sendo eles: as patologias do cordão de solda e as patologias do conjunto da ligação. As patologias do cordão de solda estão relacionadas a problemas durante a execução do procedimento de soldagem, associados à mão de obra desqualificada, equipamentos inadequados e locais inapropriados para realização do processo. Já as patologias do conjunto da ligação são associadas a erros no projeto, fabricação e montagem das estruturas. As patologias do cordão de solda ainda podem ser subdivididas em descontinuidades dimensionais e descontinuidades estruturais.

### 5.1 PATOLOGIAS DO CORDÃO DE SOLDA

#### 5.1.1 Descontinuidades dimensionais

As descontinuidades dimensionais estão relacionadas a danos nas dimensões e geometria dos cordões de solda. Elas são usualmente detectadas pelo soldador por inspeção visual. A seguir são descritas as principais descontinuidades dimensionais.

##### 5.1.1.1 Distorção

A distorção constitui-se da alteração da forma e dimensões de uma ligação soldada decorrentes de tensões térmicas sofridas durante o processo de soldagem, ocasionando as deformações. O excesso de metal de solda é um dos fatores que influenciam a ocorrência desse tipo de descontinuidade, pois quanto maior a quantidade de metal, maior o tempo gasto na execução da solda e conseqüentemente mais aporte de calor na junta e, ao contrário do que muitos pensam, o excesso de solda não aumenta a sua resistência, mas sim as tensões de

contração o que vai gerar mais deformidades. De acordo com Soares (2006) para minimizar as distorções e obter uma solda de qualidade, a sequência da soldagem deve ser bem planejada de forma que o calor seja distribuído homoganeamente sobre a peça. Todo cuidado deve ser tomado para evitar a distorção nas soldas, pois as medidas de correção para esse defeito são onerosas e muitas das vezes ineficientes, nesse caso somente a execução de uma nova soldagem resolve o problema.

#### 5.1.1.2 Preparação incorreta da junta

Este tipo de falha faz com que o surgimento de outros tipos de descontinuidades fique mais propenso, por isso deve ser corrigida antes de iniciar a execução da soldagem. Chanfros produzidos fora das dimensões especificadas em projeto podem comprometer a espessura do cordão de solda, prejudicando o processo de soldagem.

#### 5.1.1.3 Dimensão incorreta da solda

As soldas devem ser executadas exatamente como previstas em projeto, tendo em vista que, uma solda com excesso de metal além do desperdício do material, também aumenta a tendência à distorção; e uma solda executada com dimensões inferiores as exigidas em projeto, diminui a resistência calculada para a junta. As dimensões de uma solda são geralmente verificadas através de gabaritos.

#### 5.1.1.4 Perfil incorreto da solda

Este tipo de descontinuidade se refere a grandes variações na geometria de uma solda, nesses locais ocorre um acúmulo de tensão, o que propicia o surgimento de trincas. Está ligada a problemas durante a execução da operação, como o manuseio incorreto de eletrodos, parâmetros inadequados de soldagem, desequilíbrio do processo, dentre outros. Essas variações bruscas na geometria da solda também podem influenciar na concentração de escória entre os passes da soldagem e no acúmulo de resíduos, comprometendo a resistência da estrutura.

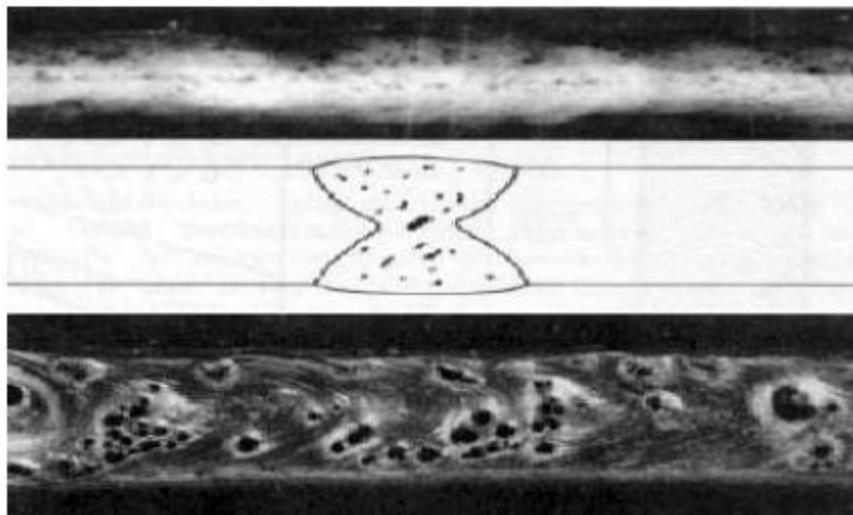
## 5.1.2 Descontinuidades estruturais

As descontinuidades estruturais estão associadas à presença de irregularidades que possam afetar a integridade estrutural de uma ligação soldada. Geralmente para observar esse tipo de descontinuidade faz-se necessário o uso de técnicas de ensaio com inspetor devidamente qualificado, uma vez que nem sempre podem ser detectadas por inspeção visual pelo próprio operador de soldagem. A seguir são apresentados os principais tipos de descontinuidades estruturais.

### 5.1.2.1 Porosidade

A porosidade, conforme figura 28, constitui-se de poros formados por gás, com diferentes tamanhos e distribuídos aleatoriamente na camada superficial ou subsuperficial da solda. Esses poros acarretam na descontinuidade e na redução da área efetiva da solda. Podem ocorrer em quaisquer tipos de soldas a arco elétrico, e na maioria das vezes ocorrem devido à falta de capacitação do operador, uma vez que ele deve ter conhecimento de como preparar a superfície que deve estar totalmente limpa e seca, bem como da escolha do eletrodo adequado.

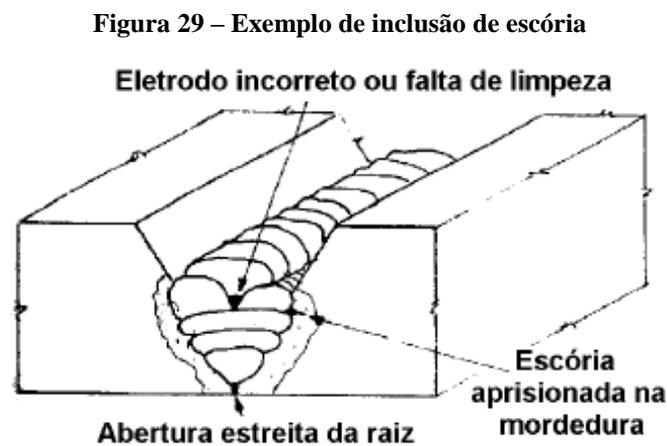
**Figura 28 – Solda com porosidade**



Fonte: RODRIGUES, 2010.

### 5.1.2.2 Inclusão de escória

Esta patologia é causada pela escória formada durante o processo de soldagem com eletrodo revestido que fica presa entre os passes da solda ou entre a solda e o metal de base, devido à remoção incorreta durante os processos. Esta falha pode influenciar o surgimento de trincas, pois a escória acumulada age como tensão, além disso, causa o enfraquecimento do cordão de solda, prejudicando toda a estrutura da ligação. A figura 29 mostra um exemplo de inclusão de escória:



Fonte: Owens & Cheal (1989, *apud* VALENCIANI, 1997).

### 5.1.2.3 Inclusão de Tungstênio

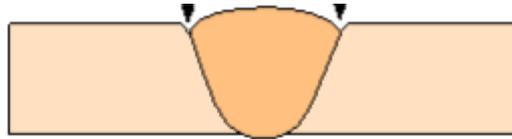
Ocorre em soldagens do processo GTAW, quando a ponta do eletrodo encosta no metal de base ou na poça de fusão, transferindo partículas de tungstênio para a solda. Esse fator faz com que a solda fique impura, comprometendo sua estrutura. Está associada ao despreparo do soldador, que não toma os devidos cuidados para evitar que o eletrodo toque o metal.

### 5.1.2.4 Mordeduras

Caracteriza-se pela imperfeição no enchimento do cordão de solda, também relacionada ao despreparo do operador da soldagem, que são ocasionadas pelo manuseio incorreto do eletrodo, excesso do comprimento do arco e altas velocidades de soldagem. Quando a mordedura é formada no interior da solda, a tendência é iniciar a inclusão de

escória. Já quando formada na última camada do cordão de solda, acontece a diminuição da resistência e a ligação fica suscetível a iniciar processo de ruptura quando for sujeitada a quadros de fadiga. A figura 30 representa um esquema de mordeduras:

**Figura 30 - Esquema de mordeduras**

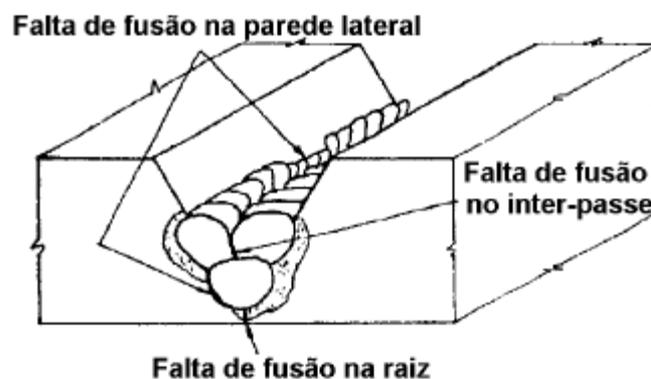


Fonte: Modenesi (2001, *apud* WEBER, 2014).

#### 5.1.2.5 Falta de Fusão

Esta patologia é causada devido ao manuseio incorreto do eletrodo, onde o material não é aquecido suficientemente ocorrendo a falta de união por fusão entre as peças a serem soldadas. Esta descontinuidade gera uma solda fraca, ficando propensa ao surgimento de trincas devido a grande concentração de tensões que se acumulam nos locais onde não houve a união corretamente. Além disso, a seção efetiva da solda sofre uma considerável redução, diminuindo a sua capacidade de resistir aos esforços mecânicos. A figura 31 exemplifica uma solda com falta de fusão:

**Figura 31 – Exemplo de falta de fusão**



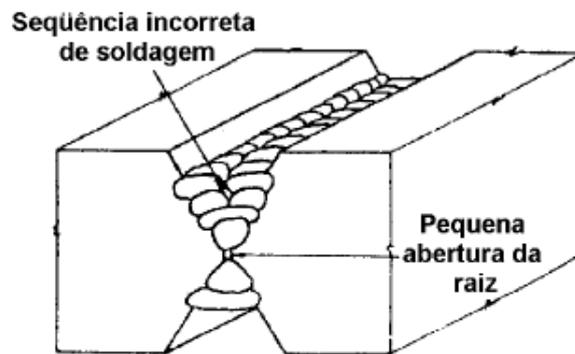
Fonte: Owens & Cheal (1989, *apud* VALENCIANI, 1997).

#### 5.1.2.6 Falta de Penetração

Também é causada devido à inaptidão do soldador, pois ocorre quando se usa uma intensidade de corrente e velocidade de soldagem muito baixas e quando o ângulo do chanfro

é muito pequeno em relação ao tamanho do eletrodo, ficando quase impossível conduzir o arco elétrico para a raiz da junta a ser soldada. A falta de penetração, como mostra a figura 32 é um defeito referente a uma falha na fusão e enchimento completo da raiz da junta. Uma junta com falta de penetração gera uma solda incompleta e a produção de escoria na raiz, agindo como concentrador de tensões, o que reduz sua capacidade de resistência mecânica. Dado isso, essa patologia se torna inaceitável em juntas com grandes solicitações mecânicas e grande responsabilidade estrutural. Existem soldas que são projetadas para terem justamente uma penetração parcial, nessas situações a falta de penetração não é tida como um defeito, desde que se mantenha dentro dos limites estabelecidos. A forma mais usual de evitar essa descontinuidade é aumentando a intensidade da corrente de soldagem.

**Figura 32 – Exemplo de falta de penetração**

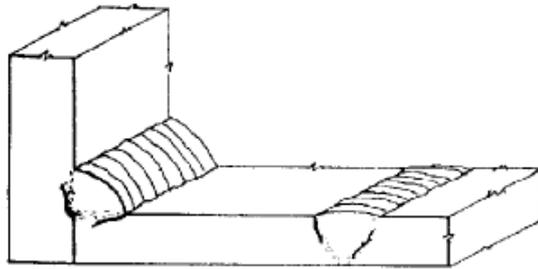


Fonte: Owens & Cheal (1989, *apud* VALENCIANI, 1997).

#### 5.1.2.7 Trincas

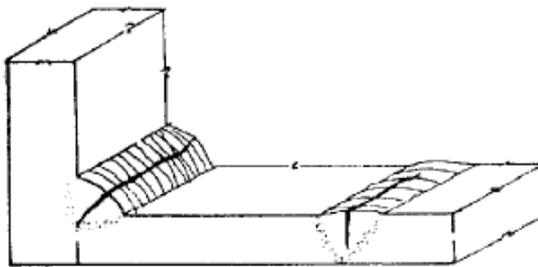
Esta patologia é considerada a mais grave em ligações soldadas por agir como intenso concentrador de tensões. Resultam de outras descontinuidades, devido a problemas no projeto, dimensionamento e procedimento da soldagem gerando um cordão de solda com a superfície com grandes reentrâncias favorecendo o aparecimento de fissuras. As trincas decorrem da incapacidade da junta soldada de resistir às tensões de tração, sejam elas transientes, residuais ou externas, impostas localmente devido a problemas de fragilização. Elas podem ocorrer durante o processo de soldagem ou ao de correr do uso da estrutura. As figuras 33 e 34 a seguir mostram exemplos de trincas causadas pelo calor e trincas resultantes da solidificação, respectivamente.

**Figura 33 – Exemplos de trincas na zona afetada pelo calor**



Fonte: Owens & Cheal (1989, *apud* VALENCIANI, 1997).

**Figura 34 – Exemplos de trincas devido a solidificação do metal de solda**



Fonte: Owens & Cheal (1989, *apud* VALENCIANI, 1997).

## 5.2 PATOLOGIAS DO CONJUNTO DA LIGAÇÃO

Os principais tipos de patologias no conjunto de ligações soldadas estão descritos a seguir, conforme elencado por Castro (1999).

### 5.2.1 Descontinuidades do conjunto da ligação

#### 5.2.1.1 Falta de usinagem das extremidades das ligações

Esta patologia se dá pelo corte descontínuo das margens de uma junta, impedindo a união perfeita entre as partes. Resulta na concentração de tensões inadequadas que não foram pré-estabelecidas em projeto e em defeitos na geometria da peça. A figura 35 demonstra um exemplo desta patologia.

**Figura 35 - Falta de usinagem nas extremidades das ligações**



Fonte: Právia & Betinelli (1998, *apud* CASTRO, 1999).

#### 5.2.1.2 Incompatibilidade entre perfis

Provém de uma falha de projeto ou fabricação e montagem de perfis com dimensões diferentes que são soldados entre si, gerando descontinuidades físicas, excentricidades e distorções geométricas, como pode ser observado na figura 36:

**Figura 36 - Incompatibilidade entre perfis**

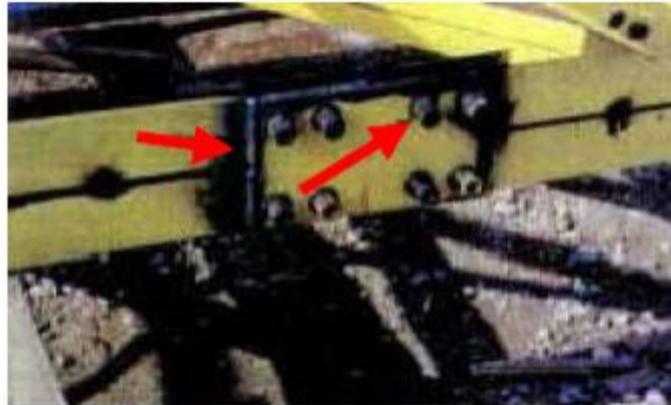


Fonte: Právia & Betinelli (1998, *apud* CASTRO, 1999).

#### 5.2.1.3 Mistura de ligações

Esta patologia caracteriza-se pela combinação de ligação soldada com ligação parafusada, e apesar de ser um procedimento técnico necessário, faz com que surjam tensões não estabelecidas em projeto, enfraquecendo a ligação. Na figura 37 é apresentado um exemplo de mistura de ligações.

**Figura 37 - Mistura de ligações**

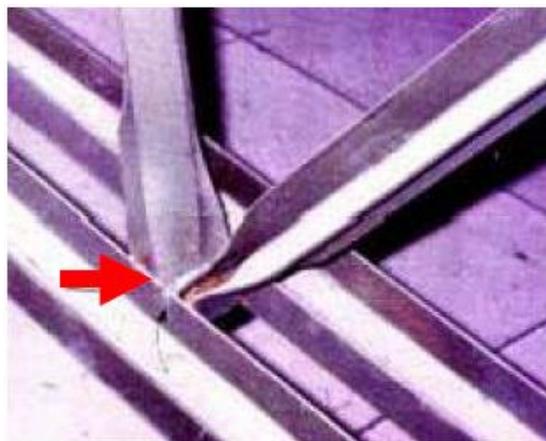


Fonte: Santos (1998, *apud* CASTRO, 1999).

#### 5.2.1.4 Amassamento das extremidades

Baseia-se num amassamento indevido das extremidades de uma peça, com o intuito de executar uma ligação soldada. Contudo, esta técnica causa brutas mudanças na geometria da peça, enfraquecendo sua estrutura. Na figura 38 está exemplificado este tipo de patologia.

**Figura 38 - Amassamento nas extremidades**



Fonte: Santos (1998, *apud* CASTRO, 1999).

Castro (1999) ainda julga como patologias aqueles defeitos que afetam somente a estética da ligação, como o mau acabamento da solda, ou os respingos que ficam em volta dela, mesmo que estes não influenciem em nada em relação às propriedades estruturais da ligação.

Estas patologias podem ser detectadas e analisadas por meio de ensaios não destrutivos, ou seja, aqueles que não alterem as propriedades estruturais das ligações e que

não afetem seu uso posterior. Os principais ensaios para verificação de ligações soldadas são elencados no próximo capítulo.

## 6 ENSAIOS

De acordo com Bellei (1998), uma solda de boa qualidade deriva de alguns parâmetros que devem ser seguidos criteriosamente. Ele divide esses parâmetros em quatro fases ou passos. Primeiramente deve-se levar em conta o projeto da junta a ser soldada, que deve ser dimensionado minuciosamente segundo os padrões técnicos, ressaltando que um projeto mal elaborado resulta em falhas e soluções onerosas. Em segundo lugar, vêm os procedimentos de soldagem, esses devem ser analisados para posteriormente ser escolhido o que melhor se adéqua ao tipo de metal-base e ao tipo de ligação que deve ser feita. O próximo passo se refere à qualificação dos soldadores. Eles devem ser devidamente qualificados e treinados conforme normatização, tendo em vista que uma boa solda depende majoritariamente do desempenho de seu operador. Por ultimo, Bellei (1998) ainda determina que a qualidade de uma solda é influenciada também pelos inspetores de qualidade, que precisam ser habilitados para assim monitorar e verificar a condição de uma solda com êxito.

Entretanto, segundo Valenciani (1997), para se obter uma solda adequada não basta somente obedecer aos requisitos de procedimentos e ter um operador de qualidade, pois ainda assim podem surgir imperfeições decorrentes do próprio processo de fabricação da peça ou do processo de soldagem de uma junta, como bolhas de gás, trincas, escórias, dentre outros. Essas imperfeições são as descontinuidades encontradas na solda. Quites (2009) considera como imperfeição quaisquer diferenças encontradas em uma solda, não previstas no projeto da peça.

De acordo com Quites (2009), pequenas imperfeições são praticamente inevitáveis quando se trata de juntas soldadas, entretanto elas podem ser aceitáveis se não ultrapassarem os limites previstos por determinadas normas. Sobretudo, quando as falhas superam esses limites, passam a ser consideradas como defeitos inaceitáveis, tendo em vista que podem acarretar grandes prejuízos financeiros, danos ambientais e até mesmo riscos à vida humana. Dessa forma, se vê necessário a execução de métodos para verificar e analisar a qualidade da solda, visando reduzir os riscos na utilização de peças de responsabilidade.

Os procedimentos para inspeção de soldas são de recomendação de normas ou códigos de fabricação da peça. A escolha do método de ensaio varia de acordo com as particularidades técnicas do material a ser analisado, ficando incumbido ao inspetor determinar qual tipo é mais compatível e sensível para detectar falhas em determinado material. Os resultados devem ser analisados de acordo com o procedimento aprovado em projeto ou segundo a norma aplicável ao material ensaiado.

A seguir são apresentados os principais métodos de inspeção ou ensaio para verificação da qualidade de soldagem:

## 6.1 INSPEÇÃO VISUAL

Um dos métodos mais simples de inspeção não destrutiva aplicados na sondagem é o ensaio visual. Porém ele é geralmente usado em soldas mais simples ou anterior á algum outro método mais eficaz. Foi um dos primeiros praticados pelo homem. Além disso, é o mais barato e utilizado em todos os ramos da indústria.

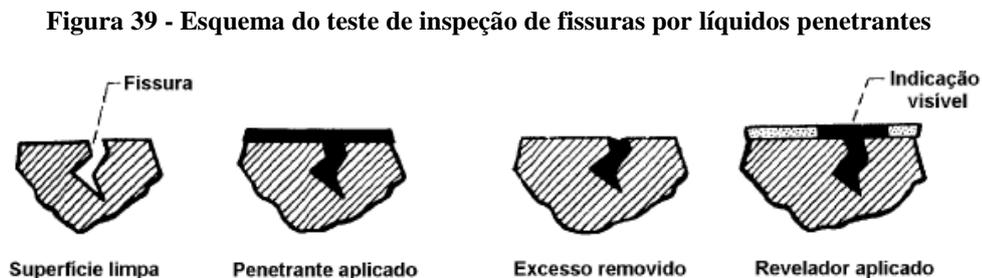
O objetivo desse ensaio é garantir a conformidade das soldas, a preparação adequada da solda para cada processo; ajustar as dimensões conforme projeto; acompanhar soldagem para correção de possíveis erros; detectar falta de deposição ou reforços excessivos, trincas, etc. É aplicado para controle de qualidade e pode ser utilizado para o exame do bisel, durante o processo de execução e após o término da solda. O ideal seria contratar uma empresa qualificada para realizar o procedimento. Essa inspeção deve ocorrer antes, durante e após o processo.

Deve-se ter um cuidado em relação a limpeza, pois pode mais tarde causar porosidades. Nos casos em que se utilizam os processos de soldagem por arco submerso e eletrodo revestido é primordial o cumprimento correto das condições de armazenamento e manutenção de eletrodo e fluxos. Quanto à verificação das espessuras e chanfros, os instrumentos devem estar devidamente calibrados.

Os parâmetros de soldagem são averiguados a partir de um retalho de chapa onde se abre o arco, pelo qual se mede a tensão, corrente, fluxo de gás e velocidade. Para examinar a temperatura de pré-aquecimento utiliza-se um termômetro de contato ou lápis térmico. Nos processos em que se obtêm a escória, verificar a sua retirada e assegurar a abertura, limpeza e preparação do lado reverso para que sejam feitas de forma adequadas. Em relação da aparência, observar se há respingos. Observar também se há defeitos como trincas, mordeduras, poros, sobreposições e outros. É indispensável que haja uma verificação minuciosa em relação a possíveis defeitos ocultos. Os defeitos encontrados através deste método deverão então ser retrabalhados.

## 6.2 INSPEÇÃO POR LÍQUIDOS PENETRANTES

O ensaio por líquido penetrante é um método desenvolvido para a detecção de descontinuidades essencialmente na superfície do material. Este ensaio consiste em fazer penetrar um líquido colorido, geralmente vermelho, na superfície defeituosa por meio da ação da capilaridade. Segundo Valenciani (1997), o líquido é pulverizado sobre a solda e seu excesso é cuidadosamente removido da superfície, após isso faz-se o líquido retido sair da descontinuidade por meio de um revelador, a base de talco ou gesso, que é pulverizado sobre a junta soldada, atraindo o penetrante pela capilaridade. Através da coloração do penetrante é possível então verificar a existência de quaisquer defeitos e descontinuidades na solda, como é observado na figura 39:



Fonte: VALENCIANI, 1997.

Este ensaio pode revelar descontinuidades extremamente finas (0,001 mm de abertura em diante), deve ser aplicado em materiais sólidos, não magnéticos, não porosos e em superfícies não muito grosseiras. Tem como vantagem também a simplicidade em sua execução e a flexibilidade quanto ao tamanho e forma das peças a serem inspecionadas.

Para que um penetrante tenha bons resultados no ensaio, devem ser seguidos alguns parâmetros. O líquido deve se espalhar tão facilmente sobre a superfície quanto ser eliminado quando necessário, sua cor deve permanecer na presença de calor ou luz, não deve reagir com o material de trabalho e nem mesmo com a embalagem e não pode evaporar e/ou secar rapidamente. Sobretudo, ainda são necessárias que algumas propriedades estejam presentes para que o penetrante tenha boa qualidade. Essas propriedades são descritas a seguir:

➤ **Viscosidade:** A velocidade com que o líquido é capaz de penetrar numa descontinuidade é estabelecida pela propriedade da viscosidade. Líquidos mais viscosos demoram mais a penetrar, enquanto líquidos pouco viscosos tendem a não permanecer muito

tempo sobre a superfície da peça, podendo ocasionar em tempo insuficiente para penetração. Além disso, líquidos de alta viscosidade podem ser retirados das falhas quando se executa a limpeza do excesso;

➤ Tensão superficial: As forças de coesão entre as moléculas que formam a superfície do líquido originam a propriedade da tensão superficial. Dessa forma, um líquido com baixa tensão superficial tem mais facilidade de penetração nas discontinuidades de uma solda;

➤ Molhabilidade: É a propriedade que faz com que o penetrante se espalhe por toda a superfície, não se juntando em porções ou gotas. Portanto, quanto melhor a molhabilidade, melhor o penetrante;

➤ Ponto de fulgor: é uma propriedade que está relacionada à segurança na utilização do penetrante. É a temperatura capaz de provocar uma quantidade de vapor suficiente na superfície de um líquido onde a presença de uma chama pode inflamá-lo. Um bom penetrante deve ter ponto de fulgor com temperatura acima de 20°C;

➤ Facilidade de dissolução: é a capacidade que os penetrantes têm de incorporarem o líquido colorido que deve estar dissolvido o máximo possível. Logo, um bom penetrante deve manter os agentes dissolvidos com facilidade;

➤ Penetrabilidade é a propriedade que faz com que o líquido penetre em finas discontinuidades. Está diretamente ligada ao efeito da capilaridade;

➤ Sensibilidade: é a propriedade que faz com que um penetrante detecte discontinuidades em uma peça. O que determina o nível de sensibilidade de um penetrante em relação a outro é a sua capacidade de detectar as discontinuidades. A capacidade de o líquido penetrar na discontinuidade; capacidade de ser removido da superfície, mas não do defeito; capacidade de ser absorvido pelo revelador; capacidade de ser visualizado quando absorvido pelo revelador, mesmo em pequenas quantidades são os fatores que afetam a sensibilidade;

➤ Volatilidade: quanto maior for a volatilidade de um penetrante, maior será também a sua viscosidade, como é desejado um líquido de viscosidade média, pressupõe-se que a volatilidade também será mediana.

Os resultados do ensaio devem ser interpretados de acordo com alguma norma, código de fabricação da peça ou especificação técnica do cliente, e descritos em um relatório contendo a descrição da peça ensaiada e suas condições de aprovação ou não, dependendo do resultado.

A última etapa deste ensaio é a limpeza de todos os resíduos que possivelmente ficaram após o término dos testes. Isto é feito para que o processo posterior ao ensaio, que no caso do presente trabalho é a soldagem, não seja prejudicado.

### 6.3 INSPEÇÃO POR PARTÍCULA MAGNÉTICA

De acordo com Valenciani (1997), neste ensaio a peça base é sujeita a um campo magnético, formado na maioria das vezes por um pó seco magnético vermelho que é aplicado na superfície a ser ensaiada. Forma-se então o fluxo magnético que é induzido ao corpo base por meio de polos magnéticos. A partir disso, qualquer defeito superficial ou subsuperficial da peça é monitorado pelo vazamento deste fluxo, revelando deste modo a localização da descontinuidade, suas formas e extensão.

Dado isso, este ensaio só pode ser realizado em materiais ferromagnéticos, como o ferro, cobalto e quase todos os tipos de aço, e só detecta imperfeições de até aproximadamente 2,54mm. Pode ser executado durante as fases de fabricação, tanto em peças acabadas quanto em peças semiacabadas. Sua aplicação é limitada a peças de geometria simples, sendo mais adequado para ensaiar componentes em uma linha de montagem.

Para uma adequada visualização das descontinuidades, é necessário ajustar a intensidade dos campos magnéticos. Este ajuste é conseguido testando peças ou corpos de prova com defeitos já conhecidos, onde uma série de direções de fluxo será então observada, uma vez que as falhas só aparecem se cortarem transversalmente a linha de fluxo.

Este ensaio pode ser realizado simultaneamente com componentes seriados, e as descontinuidades transversais e longitudinais podem ser observadas concomitantemente, reduzindo consideravelmente o tempo de inspeção além de reduzir as chances de erros por parte do inspetor. Cada peça é testada apenas uma vez, o que gera uma grande economia de partículas magnéticas.

#### 6.4 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL

O ensaio de Rockwell é usado para determinar a dureza de um material. É uma das técnicas mais usadas para medir a dureza de peças metálicas por ser simples eficiente e, na maioria das vezes, não fraturar ou deformar a peça a ser ensaiada. Leva esse nome em homenagem ao seu criador, que em 1922 elaborou o método.

Este método consiste em testar a dureza do material através do sistema de cargas. Inicialmente aplica-se uma pré-carga de 10 kgf usualmente, para assegurar que o penetrador e o material ensaiado mantenham-se em contato firme. Posteriormente aplica-se a carga maior do ensaio propriamente dita que pode ser de 60, 100 ou 150 kgf aumentando a penetração. A soma das duas cargas resulta na carga nominal ou total do ensaio.

A dureza do material é medida através da retirada da carga maior, onde é dada a profundidade que foi alcançada pelo penetrador, descontando-se a recuperação elástica, ficando seu valor indicado na escala do mostrador da máquina de ensaio. Podem ser usados dois tipos de penetradores neste método de ensaio: o penetrador esférico, que consiste em uma esfera de aço temperado; e o penetrador cônico, que é um cone de diamante com 120° de conicidade.

Alguns cuidados especiais devem ser tomados antes de iniciar o ensaio de Rockwell. A peça e a mesa de apoio devem estar perfeitamente assentadas uma sobre a outra e extremamente limpas; o penetrador deve estar perpendicular a peça, com uma inclinação de no máximo 7 graus. Durante o ensaio, não deve haver choques e/ou vibrações, por isso as máquinas contém um sistema de amortecedor hidráulico. Esse procedimento deve durar de 6 a 10 segundos, podendo ser prolongado para até 30 segundos se o metal for mole, devido a sua recuperação elástica.

Este método não requer habilidades especiais do operador, o que elimina a possibilidade de erros por parte dele. Pode ser executado em quase todos os metais, bem como em muitos polímeros.

#### 6.5 ENSAIO POR ULTRASSOM

A inspeção ultrassônica é um método de ensaio não destrutivo que detecta as descontinuidades internas através da introdução de um feixe sônico que é refletido ao coincidir com o defeito em um meio considerado. Um cristal cerâmico polarizado, denominado transdutor, é energizado por uma corrente elétrica, o que o motiva a vibrar,

produzindo ondas sonoras de alta frequência. As discontinuidades são observadas e interpretadas com precisão por meio de aparelhos especiais, que transformam as reflexões das ondas de som em energia elétrica no interior da peça analisada.

A superfície deve ser muito bem preparada e limpa, não pode conter nenhum obstáculo por mínimo que seja que possa impedir a passagem do feixe sônico na peça em questão. É preciso também uma atenção especial para a temperatura da peça, uma vez que temperaturas superiores a 60° podem prejudicar os transdutores.

Segundo Valenciani (1997), esse método de inspeção não é conveniente para soldas eletro-escória devido a seus grânulos serem extremamente grosseiros, o que pode dispersar o som e gerar sinais que impeçam ou dificultem o processo do ensaio. Entretanto, em aços de baixa liga é possível identificar falhas planas menores que 0,40mm.

O ensaio por ultrassom possui alta sensibilidade na detecção de pequenos defeitos no interior da peça, como trincas e fissuras provenientes de tratamento térmico, que são de difícil detecção quando se utiliza outros métodos de ensaio. Com ele é possível detectar todos os mais comuns defeitos existentes na superfície e subsuperfície de uma larga variedade de soldas, podendo ser aplicado em peças de grandes espessuras e com geometrias variadas. Por outro lado, peças com pequenas dimensões exigem um alto grau de dificuldade na inspeção.

Em relação ao ensaio radiográfico, o ensaio ultrassônico se torna mais prático e rápido, porque seus resultados são exibidos diretamente na tela do aparelho, não havendo a necessidade de revelação de filmes por exemplo. Ademais, não é necessária a utilização de acessórios ou planos especiais de segurança para sua aplicação, pois somente com o aparelho de ultrassom tem-se o ensaio completo. Apesar de ser um procedimento versátil, o operador deve ter um grande conhecimento teórico, maior treinamento e experiência do que em outros ensaios não destrutivos.

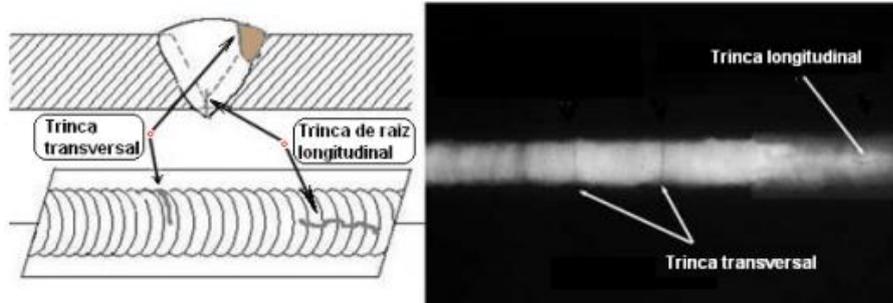
A interpretação dos resultados do ensaio deve ser feita de acordo com o comprimento da discontinuidade, caso haja, e pela amplitude do eco de reflexão do som, que são mensuradas pelo operador do procedimento.

## 6.6 INSPEÇÃO RADIOGRÁFICA COM RAIOS-X E RAIOS GAMA

O ensaio radiográfico é um processo não destrutivo que utiliza radiação de ondas curtas emitida por raios-x e raios-gama para detectar discontinuidades superficiais e subsuperficiais em uma junta soldada. As discontinuidades mais habituais analisadas na inspeção radiográfica são as trincas, porosidade, inclusão de escória e falta de penetração e

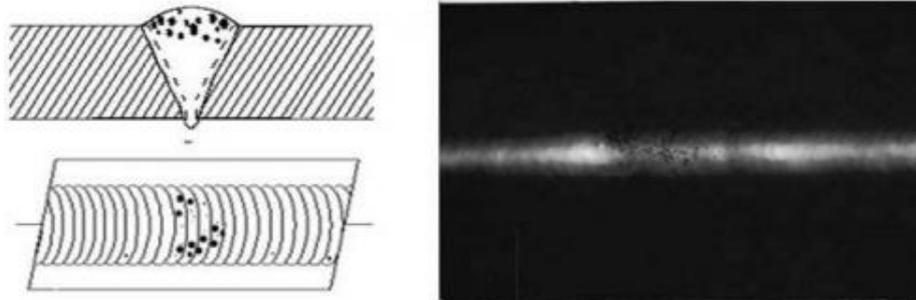
falta de fusão. Elas podem ser observadas nas radiografias apresentadas nas figuras 40, 41, 42, 43 e 44 respectivamente:

**Figura 40 - Solda com trincas**



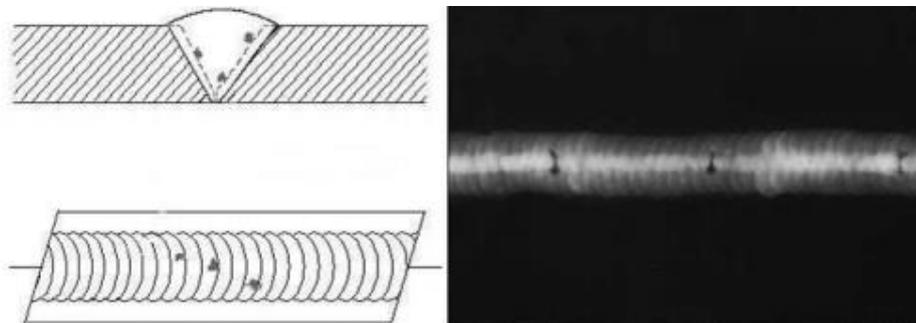
Fonte: QUITES, 2009.

**Figura 41 - Solda com porosidade**



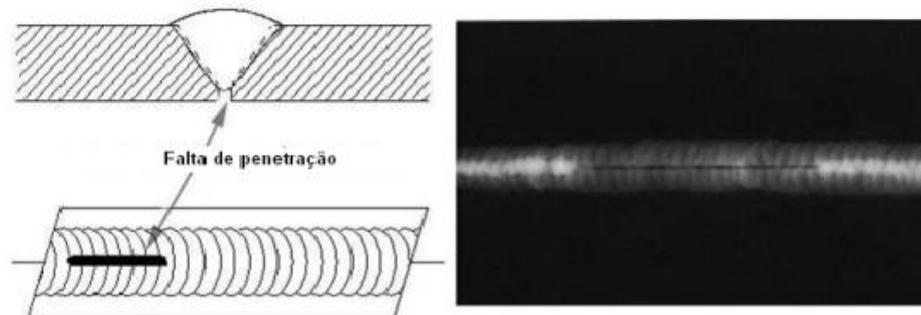
Fonte: QUITES, 2009.

**Figura 42 - Solda com inclusão de escória**



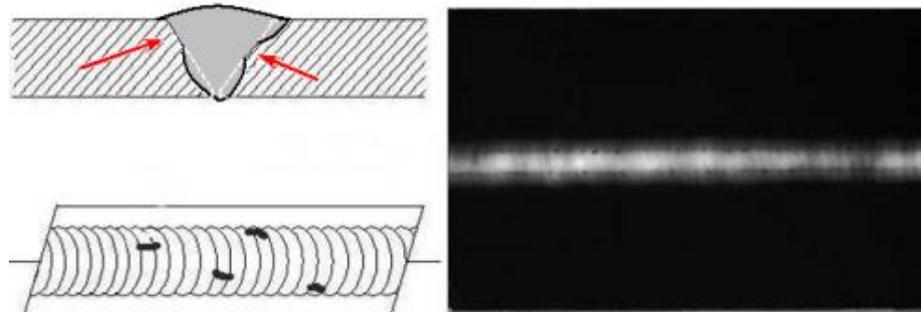
Fonte: QUITES, 2009.

**Figura 43 - Solda com falta de penetração**



Fonte: QUITES, 2009.

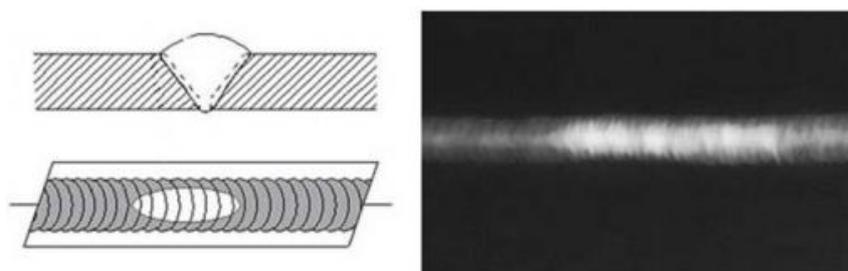
**Figura 44 - solda com falta de fusão**



Fonte: QUITES, 2009.

De acordo com Valenciani (1997), a irradiação encontra menos resistência nas regiões onde haja imperfeições, naturalmente nesses locais são emitidas uma quantidade maior de radiação. Essa variação de radiação pode ser captada através de filmes fotográficos, tubos de imagem ou ainda pode ser medida por detectores eletrônicos de radiação. A inspeção por ultrassom pode detectar também regiões da solda onde foram utilizados materiais em excesso em relação ao especificado em projeto, como é mostrado na figura 45:

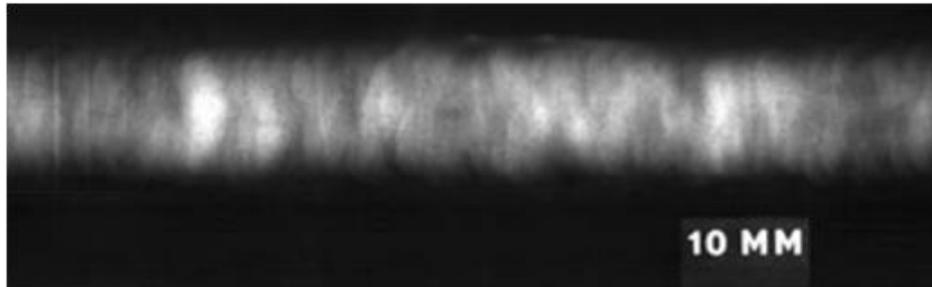
**Figura 45 - Solda com reforço excessivo**



Fonte: QUITES, 2009.

A figura 46 representa uma solda sem descontinuidades. Nela é possível observar a solda e o metal de base através da tonalidade, que varia de acordo com as diferenças de densidade. As partes mais alvas são as ondulações superficiais da solda.

**Figura 46 - Radiografia de uma solda sadia**



Fonte: QUITES, 2009.

Este método de ensaio gera resultados precisos e objetivos, tendo em vista que não precisa ser analisado subjetivamente pelo inspetor como em outros ensaios não destrutivos. Entretanto, as radiações emitidas tanto pelos raios-x quanto pelos raios-gama são altamente prejudiciais a saúde e ao meio ambiente. Por isso cuidados especiais devem ser tomados para proteção e segurança dos operadores da equipe que realiza o ensaio, além da preocupação também com a vizinhança do local onde é executado o procedimento e com o meio ambiente.

Devido a esses fatores, o inspetor deve ser devidamente treinado, qualificado e autorizado por órgãos competentes a realizar este procedimento. Os ensaios radiográficos são regidos por normas e sua execução só pode ser dada mediante autorização de órgãos como defesa civil e prefeitura municipal. Tendo em visto os fatores supracitados, e o custo dos equipamentos, este método se torna muito caro e vem sendo superado pelo sistema ultrassônico.

Owens & Cheal (1989, *apud* VALENCIANI, 1997, p. 108 e 109), considera que o ensaio por raio-gama é mais adequado para testar peças com espessuras entre 10 e 60 mm, tendo como fonte o irídio 192, para um perfeito resultado. Para peças com espessuras entre 60 e 120 mm a fonte é o cobalto 60. Nos ensaios utilizando raio-gama, obtêm-se grandes penetrações, pois eles possuem comprimentos de ondas menores que os do raio-x.

Os aparelhos de raio-gama levam como vantagem em relação aos de raio-x o fato de serem mais leves, mais baratos e mais versáteis. Porém, os aparelhos de raio-x são mais sensíveis e flexíveis, pois a intensidade da radiação pode ser variada. Em locais onde não tem

energia elétrica, o ensaio deve ser realizado utilizando raios gama, posto que eles são emitidos espontaneamente, não havendo a necessidade de alimentação elétrica e aparelhagem.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo estudar a soldagem de emendas de aço para serem utilizadas em estruturas metálicas. Observou-se que, o dimensionamento das soldas deve ser feito de acordo com a norma da NBR 8800 (ABNT, 2008), a qual utiliza várias prescrições de normas estrangeiras. Tão importante quanto o dimensionamento de solda é a sua correta execução para que a resistência e durabilidade desejadas sejam alcançadas. Em toda a literatura consultada, devem também fazer parte do processo de soldagem, a fim de alcançar a devida qualidade, as verificações posteriores ou vistorias. Resumindo, para se obter uma solda de qualidade, o processo deve necessariamente envolver dimensionamento, execução e verificação ou vistoria das soldas, ou dos elementos soldados.

Com o intuito de proporcionar aos estudantes de engenharia, profissionais e interessados no assunto “emendas soldadas”, o presente trabalho apresenta, de maneira clara e sucinta, as principais características das ligações soldadas, seu comportamento, os tipos de solda e os processos de soldagem, além de apresentar também, uma descrição do método de dimensionamento das ligações e ainda as patologias que podem ocorrer e os principais ensaios de qualificação da solda.

Com base na teoria normativa da NBR 8800 (ABNT, 2008) e em orientações bibliográficas outras, verificou-se, através de exemplos numéricos, que uma emenda soldada quando bem projetada e executada, possui as propriedades necessárias para resistir aos esforços solicitantes nas barras soldadas de uma estrutura, da mesma forma que o restante das barras de aço, sem solda, resistem.

Os exemplos numéricos de dimensionamento permitiram uma avaliação do comportamento estrutural dos modelos de ligações soldadas, o que verifica-se ser bastante repetitivo. Diante disso, o profissional que deseja trabalhar nesta área deve considerar a viabilidade de obtenção de programas computacionais específicos para facilitar o dimensionamento e detalhamento das estruturas de aço.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 247 p.
- BELLEI, I.H. (1994). **Edifícios industriais em aço**: Projeto e cálculo. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 483 p.
- CARDOSO, R. S. **Estudo do comportamento de vigas metálicas com seção composta “caixa”, constituídas de perfis formados à frio, com emendas soldadas, submetidas à flexão simples**. 2003. 162 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2003.
- CASTRO, E. M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. 1999. 204 f.. Dissertação (Pós- Graduação em Engenharia Civil)- Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 1999.
- CORREIA, A. L. G. **Soldagem TIG**. 2017. Disponível em:<[https://docente.ifsc.edu.br/anderson.correia/MaterialDidatico/Eletromecanica/Modulo\\_2/Processos\\_de\\_Soldagem/Soldagem%20TIG.pdf](https://docente.ifsc.edu.br/anderson.correia/MaterialDidatico/Eletromecanica/Modulo_2/Processos_de_Soldagem/Soldagem%20TIG.pdf)>. Acesso em: 02 jul. 2017.
- DBC OXIGÊNIO. **Soldando com arame tubular com fluxo e CO2 como gás de proteção**. 2014. Disponível em: <<http://guias.oxigenio.com/soldando-com-arames-tubular-com-fluxo-e-co2-como-gas-de-protecao>>. Acesso em: 02 jul. 2017.
- ESAB. **Processo de Soldagem: MIG/MAG (GMAW)**. 2014. Disponível em: <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo\\_soldagem\\_mig\\_mag\\_gmaw.cfm](http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_mig_mag_gmaw.cfm)>. Acesso em: 04 jul. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Ligações em estruturas metálicas**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2004. 88p.
- SANTOS JUNIOR, A. A. S. **União de componentes metálicos por soldagem**. 2001. 16 f.. Apostila (Curso de Engenharia Mecânica)- Departamento de Projeto Mecânico, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: Dimensionamento Prático.8. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2009. 382 p.

QUITES, A. **Inspeção de juntas soldadas por radiografia**. 2009. Disponível em: <<http://www.soldasoft.com.br/portal/generalidades/INSPE%C3%87%C3%83O%20DE%20JUNTAS%20SOLDADAS%20POR%20RADIOGRAFIA.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

RODRIGUES, G. J. O. **Estruturas metálicas**. 71 f.. Notas de aula. [2010].

SOARES, H. C. G. **Estudo de seqüências de soldagem para redução e eliminação de distorções**. 2006. 95 f.. Dissertação (Pós- Graduação em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2006.

VALENCIANI, V. C. **Ligações em estruturas de aço**. 1997. 352 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1997.

WEBER, J. R. **Estudos dos efeitos do tratamento térmico pré-soldagem em juntas T de aço 1045 pelo processo MAG**. 2014. 80 f.. Monografia (Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica)- Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi. 2014.

## ANEXO A - Simbologia de solda

A figura 47 apresenta a simbologia utilizada para soldas.

**Figura 47 – Simbologia de solda**

Contra - Solda	Filete	Tampão	Entalhe				
			Sem Chanfro	V	Bisel	U	J
							

Chapa de espera	Em toda volta	De campo	Acabamento	
			Plano	Convexo
				

Fonte: RODRIGUES, 2010.