

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Faculdade de Engenharia Mecânica**  
**Programa de Especialização em Soldagem**

Fernando Moreira

**Interpretação das normas europeias para equipamentos pressurizados e  
elaboração de um estudo comparativo entre as normas EN 15614 e ASME IX  
para qualificação de procedimentos de soldagem.**

Belo Horizonte  
2023

Fernando Moreira

**Interpretação das normas europeias para equipamentos pressurizados e elaboração de um estudo comparativo entre as normas EN 15614 e ASME IX para qualificação de procedimentos de soldagem.**

Monografia de especialização apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Soldagem.

Orientador: Prof. Dr. Ariel Rodrigues Arias

Belo Horizonte  
2023

M838i

Moreira, Fernando.

Interpretação das normas europeias para equipamentos pressurizados e elaboração de um estudo comparativo entre as normas EN 15614 e ASME IX para qualificação de procedimentos de soldagem [recurso eletrônico] / Fernando Moreira. – 2023.

1 recurso online (80 f.: il., color.) : pdf.

Orientador: Ariel Rodriguez Arias.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Bibliografia: f. 78-80.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Soldagem. 2. Engenharia mecânica. 3. Tubulações. 4. Indústria. 5. Normas técnicas. 6. Celulose. 7. Projetos de engenharia. I. Arias, Ariel Rodríguez. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.791



Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Programa de Pós-Graduação  
Curso de Especialização em Soldagem



## ATA 03ª/2023 DA DEFESA DE MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

No dia **30 de junho de 2023**, às 10:00 h, a Comissão Examinadora se reuniu remotamente para avaliar o trabalho:

**Título:** A INTERPRETAÇÃO DAS NORMAS EUROPEIAS PARA EQUIPAMENTOS PRESSURIZADOS E ELABORAÇÃO DE UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS EN 15614 E ASME IX PARA QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE SOLDAGEM

**Aluno:** FERNANDO MOREIRA – Matrícula: 2022687552

**Local:** Remotamente via plataforma “TEAMS”.

### Parecer:

A Comissão Examinadora, após a apresentação pelo (a) candidato (a) durante 30 minutos e após ter argüido o(a) candidato(a) por 35 minutos, é de parecer Favorável \_\_\_\_\_ à aprovação do trabalho de monografia com a nota final de 98 e sem (com ou sem) sugestões de modificação.

Sugere-se o prazo de \_\_\_\_\_ dias para efetuar-se as modificações sugeridas com revisão final acompanhada e homologada pelo orientador Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias.

### Assinaturas:

Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias  
Departamento Engenharia Mecânica  
Escola de Engenharia  
UFMG - 31271-110

**Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias**  
DEMEC/UFMG – Orientador

Eng. Reginaldo M. Nunes  
CREM/02225920  
Eng. Internacional de Soldagem  
BR-118-0415-16-048  
Certified International Working Engineer – CIWE  
Insb. de Soldagem = IS1439N2

**Prof. Reginaldo Matias Nunes**  
Especialista DELP ENGENHARIA

Documento assinado digitalmente  
gov.br ALEXANDRE QUEIROZ BRACARENSE  
Data: 03/07/2023 10:54:01-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Alexandre Queiroz Bracarense**  
DEMEC/UFMG - Avaliador

**Aluno: Fernando Moreira**

Documento assinado digitalmente  
gov.br FERNANDO MOREIRA  
Data: 03/07/2023 11:51:48-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico este trabalho à minha querida e amada esposa Serli, aos meus filhos Lucas e a Letícia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar saúde e força durante todo o período deste curso de pós-graduação. Somente Deus sabe as dificuldades que passei e os desafios enfrentados até a conclusão do curso.

Agradeço a minha esposa Serli por todo o apoio que me deu durante os anos de estudos, pela minha ausência como marido e como pai em muitas ocasiões devido à necessidade de estudar para as diversas provas e trabalhos, além das aulas online e das viagens para as aulas presenciais.

Ao meu filho Lucas por ser um filho tão amoroso e dedicado, por jamais deixar de amar seu pai, apesar das muitas ausências deste.

Ao meu pai Antônio Moreira por seus ensinamentos, e que apesar da sua simplicidade e das dificuldades da sua jornada, criou seus três filhos com a melhor educação possível, tornando-os pessoas dignas e honestas apesar de todas as dificuldades financeiras ao longo da sua vida.

À minha mãe Zilda do Carmo Moreira por seu amor incondicional e sua dedicação aos filhos, apesar do seu estado de saúde nem sempre favorável.

“Tudo que a mente do homem pode conceber e acreditar ela pode realizar.”

(NAPOLEON HILL)

## RESUMO

A qualificação de procedimentos de soldagem, apesar de já ser um tema amplamente debatido no universo da soldagem ainda traz diversos desafios. O presente estudo procurou identificar os requisitos, as variáveis essenciais e as faixas de qualificação de procedimentos de soldagem de acordo com as normas de Projeto DIN EN ISO 13480 e a sua respectiva norma de qualificação de procedimentos de Soldagem DIN EN ISO 15614-1. O presente estudo procurou fazer um paralelo entre as normas europeias e as normas americanas ASME B31.3 e ASME IX com o objetivo de identificar as principais diferenças e semelhanças entre as normas. As normas Europeias não são muito comuns no Brasil, porém são amplamente utilizadas na europa e são requisitos de lei. Portanto, na europa todos os fabricantes de equipamentos pressurizados devem utilizar e atender a todos os requisitos das normas EN para colocar seus equipamentos em operação. Procuramos ao longo do presente estudo entender as normas europeias e criar um roteiro para a qualificação de procedimentos de soldagem. Além disso, foi feita uma comparação da quantidade de EPS/RQPS necessárias a serem qualificadas pela Norma EN em comparação com a norma ASME para uma planta de celulose em construção no Uruguai que utilizou na íntegra os requisitos das normas europeias para o projeto, fabricação e instalação das tubulações de processo. Esperamos que o presente estudo possa contribuir com estudos e projetos que utilizem as normas EN para a fabricação de tubulações de processo em projetos futuros.

Palavras-chave: soldagem; procedimento de soldagem; qualificação de procedimento; tubulações.



## **ABSTRACT**

Welding procedures Qualification, it is a widely well-known topic at the welding community, but it still impose some challenges. This monograph looks for to identify the requirements, essential variables and qualification ranges for welding procedures according to the Project Codes DIN EN ISO 13480 and its respective qualification standard for Welding procedures DIN EN ISO 15614-1. The present study looks for to make a parallel between the European standards and the American standards ASME B31.3 and ASME IX in order to identify the main differences and similarities between those international standards. European standards are not well known in Brazil, but they are widely used in Europe, and it is a legal requirements. Therefore, in Europe all manufacturers of pressurized equipment shall use and meet all the requirements of EN standards to put their equipment into operation. Throughout this study, we look for to understand European standards and create a guide for welding procedures qualification. In addition, a comparison was made of the amount of WPS/PQR required to be qualified by the EN Standard compared to the ASME standard for a pulp and paper mill under construction in Uruguay that fully used the requirements of the European standards for design, manufacture, and installation of process piping. We hope that the present study can contribute with studies and projects that use EN standards for the manufacture of process piping in future projects.

Keywords: welding; welding procedure; procedure qualification; pipes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desastre da grover shoe factory .....	21
Figura 2 – Enquadramento de tubulações conforme diretiva europeia .....	27
Figura 3 – Peça de teste junta de topo com penetração total .....	35
Figura 4 – Peça de teste junta de topo com penetração total .....	35
Figura 5 – Posição e retirada dos CP's .....	37
Figura 6 – Representação do ângulo de uma derivação .....	43
Figura 7 – Chanfros típicos para juntas de topo conforme ASME B31.3 .....	49
Figura 8 – Certificado de consumível ER70S-3 - exemplo .....	58
Figura 9 – Materiais para fabricação de tubos .....	61
Figura 10 – Processos para fabricação de tubos .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das tubulações norma DIN EN 13480 .....	22
Tabela 2 – Responsabilidade pela qualificação dos documentos de soldagem.....	28
Tabela 3 – Tipo e extensão de ensaios para qualificação de RQPS.....	36
Tabela 4 – Níveis de imperfeições permitidos para qualificação de RQPS.....	38
Tabela 5 – Faixas de metais de base para qualificação de RQPS.....	39
Tabela 6 – Exemplo 2 – Qualificação de procedimento ASME IX.....	48
Tabela 7 – Requisitos de pré-aquecimento conforme ASME B31.3.....	50
Tabela 8 – Tabela QW-256 – variáveis do processo GTAW .....	53
Tabela 9 – Faixas de qualificação ASME IX para metais de base e adição.....	55
Tabela 10 – Classificação dos metais base conforme o número P. ....	56
Tabela 11 – Faixa de qualificação conforme item QW-424 ASME IX .....	56
Tabela 12 – Tabela QW-422 ASME IX.....	58
Tabela 13 – Especificação de materiais e temperatura para uso.....	64
Tabela 14 – Comparação entre as propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis de microestrutura dúplex com as ligas austeníticas.....	67
Tabela 15 – Tipos de combinações de materiais aplicados .....	68
Tabela 16 – Tipos de combinações de materiais aplicados .....	69
Tabela 17 – Faixas de qualificação de espessuras.....	70
Tabela 16 – Faixas de qualificação de diâmetros .....	70
Tabela 19 – Tabela comparativa entre ASME IX e EN 15614-1 .....	75
Tabela 20 – Quantidade de EPS's necessárias: ASME IX e EN 15614-1.....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

BLRB	- <i>Black Liquor Recovery Boiler</i> , Caldeira de Recuperação de Licor Negro
EN	- Sigla referente às Normas europeia (European Normative)
NFPA	- <i>National Fire Protection Association</i>
CE	- <i>Conformité Européenne</i>
NoBo	- Notified Body
DIN	- <i>Deutsches Institut für Normung</i>
NoBo	- <i>Notified Body</i>
PED	- <i>Pressure Equipment Directive</i>
EPS	- Especificação do Procedimento de Soldagem
RQPS	- Registro de Qualificação do Procedimento de Soldagem
ASME	- American Society For Mechanical Engineers
PREN	- Pitting Resistance Equivalent Number
pWPS	- <i>preliminary Welding Procedure Specification</i>
PWHT	- <i>Post Weld Heat Treatment</i> (pós-aquecimento para alívio de tensão.)

## LISTA DE SÍMBOLOS

T - Espessura do Metal Base

t – espessura do metal depositado

Ø - diâmetro nominal

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 Justificativa .....	18
1.2 Objetivos .....	19
1.2.1 Objetivo geral .....	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1 Diretiva Europeia e Requisitos do Projeto.....	20
2.1.1 Norma DIN EN 13480 – Tubulação metálica industrial .....	21
2.1.2 Requisitos gerais – norma DIN EN 13480-1.....	22
2.1.3 DIN EN 13480-2 - materiais .....	24
2.1.4 DIN EN 13480-3 – projeto e cálculo .....	24
2.1.5 DIN EN 13480-4 – fabricação e instalação.....	24
2.1.6 Requisitos do projeto.....	26
2.1.7 Diretiva europeia - pressure equipment directive (PED) 2014/68/EU.....	26
2.1.8 Materiais e fabricação .....	28
2.2 ASME B31.3 – tubulação de processo.....	28
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
3.1 Requisitos da norma DIN EN ISO 13480 .....	31
3.2 Requisitos norma DIN EN ISO 15614-1 .....	31
3.3 Requisitos para a qualificação de EPS pela norma EN.....	32
3.3.1 Processos de soldagem nomenclatura .....	33
3.3.2 Metal de base.....	34
3.3.3 Formato e dimensões do corpo de prova.....	34
3.3.4 Peça de teste de soldagem.....	36
3.3.5 Tipo e extensão dos ensaios.....	36
3.3.6 Posição e retirada dos CP's .....	37
3.3.7 Exames não destrutivos .....	37
3.3.8 Faixa de qualificação dos metais de base.....	39
3.3.9 Faixa de espessura qualificada .....	40
3.3.10 Faixa de diâmetro qualificada.....	40
3.3.11 Requisitos comuns para todos os procedimentos de soldagem.....	41
3.3.12 Tipo de junta e solda .....	42

3.3.13	Material de adição, fabricante/nome comercial, designação .....	43
3.3.14	Dimensão do metal de adição .....	44
3.3.15	Tipo de corrente e polaridade.....	44
3.3.16	Aporte de calor (energia do arco).....	45
3.3.17	Pré-aquecimento .....	45
3.3.18	Temperatura de interpasse .....	45
3.3.19	Pós-aquecimento para liberação de hidrogênio .....	46
3.3.20	Tratamento térmico .....	46
3.4	Requisitos para a qualificação de RQPS pelo ASME B31.3 .....	47
3.4.1	Pré-aquecimento .....	49
3.4.2	Tratamento térmico .....	51
3.4.3	Metal base.....	52
3.4.4	Metal de adição .....	57
3.4.5	Gás de proteção.....	59
3.5	Tubulação de processo .....	60
3.6	Materiais e processos de fabricação de tubos .....	61
3.7	Processo de fabricação de tubos .....	61
3.7.1	Aços-carbono .....	62
3.7.2	Tubos de aço-liga.....	63
3.7.3	Tubos de aço inoxidável.....	64
3.7.4	Aços inoxidáveis austeníticos.....	65
3.7.5	Aços inoxidáveis duplex .....	66
3.8	Meios de ligação de tubos.....	67
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
4.1	Requisitos da norma en 15614.....	68
4.1.1	Espessuras e diâmetros para aços carbono .....	69
4.1.2	Espessuras e diâmetros para aços 16Mo3 .....	71
4.1.3	Espessuras e diâmetros para aços inox 1.4307 .....	71
4.1.4	Espessuras e diâmetros para aços inox 1.4432 e 1.4404 .....	72
4.1.5	Espessuras e diâmetros para aços inox 1.4462 (duplex).....	72
4.1.6	Posição de teste.....	72
4.2	Requisitos da norma ASME IX.....	73
4.2.1	Espessuras para aços carbono .....	73
4.2.2	Espessuras para aços 16Mo3.....	73

4.2.3 Espessuras para aços anox 1.4307 .....	74
4.2.4 Espessuras e diâmetros para aços inox 1.4432 e 1.4404 .....	74
4.2.5 Espessuras para aços inox 1.4462 (duplex).....	74
4.3 Comparação EN 15614 com ASME IX.....	74
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>77</b>
5.1 Recomendações para trabalhos futuros.....	77
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>78</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade as indústrias tem buscado a competitividade, procurando reaproveitar ao máximo os recursos disponíveis em suas plantas industriais. Neste sentido, as caldeiras de recuperação<sup>1</sup> de licor negro têm ganhado grande espaço dentro das plantas de papel e celulose. As caldeiras de recuperação são construídas para atuarem no processo de recuperação de produtos químicos e para a geração de energia elétrica a partir da queima de resíduos de alto valor agregado conhecido como licor negro. O licor negro é um subproduto do processo de extração de celulose de madeira sendo definido como “uma solução aquosa de resíduos orgânicos de madeira e produtos químicos alcalinos usados; é concentrado a 65±80% de conteúdo sólido para permitir a combustão auto-sustentável na caldeira de recuperação” (MIKKANENA, 2001).

No processo de recuperação química o licor negro é queimado dentro de uma fornalha composta por centenas de tubos soldados lado-a-lado por onde passa água de alimentação que é aquecida pelo calor gerado na queima do licor até atingir a temperatura de vapor saturado.

De acordo com o National Board dos Estados Unidos:

O processo de polpação de sulfato de sódio ou kraft foi patenteado em 1884 e representa mais de 80% de toda a polpa produzida na América do Norte. Este processo não seria economicamente viável sem a caldeira de recuperação de licor negro (BLRB). O objetivo do BLRB é recuperar os produtos químicos de polpação gastos no "licor negro" pelo processo de combustão e capturar o poder calorífico como vapor para gerar eletricidade e suprir as demandas de vapor do processo. (THE NATIONAL BOARD, 1998.)

De acordo com o *The National Board* dos Estados Unidos: “O projeto do BLRB é atribuído a G.H. Tomlinson e a primeira unidade com paredes de água foi construída em 1934 por Babcock e Wilcox.” Ainda de acordo com o *The National Board* (1998) uma BLRB atual, que é semelhante a uma caldeira aquatubular, pode ser constituída de um ou dois tubulões de vapor. A diferença básica pela escolha entre um ou dois tubulões vai ao encontro das pressões máximas de cada projeto. Com pressão abaixo de 900 psi (aprox 62 bar) utiliza-se dois tubulões, acima disso o projeto geralmente contempla apenas um tubulão. De acordo com o *The National board* (1998), “o projeto com tubulão único tem as vantagens de remover o balão dos gases de combustão corrosivos e eliminar possíveis vazamentos das juntas dos tubos laminados.” Por

---

<sup>1</sup> *Black Licor Recovery Boiler*

serem gases altamente corrosivos, principalmente devido às altas temperatura para operação acima de 62 bar é necessária uma proteção diferenciada para evitar a corrosão. Dessa forma, foram desenvolvidos pela indústria metalúrgica tubos compostos, cromagem, revestimento por pulverização de metal e revestimento de solda inoxidável, que são utilizados principalmente na fornalha das BLRB.

De acordo com o *The National Board*:

A capacidade de produção de celulose de uma fábrica determina o tamanho de um BLRB. Para cada tonelada de polpa, são gerados cerca de 3.000 libras de sólidos secos. Um BLRB pequeno típico processará 750.000 lbs/dia de sólidos secos e será classificado para 300 psi MAWP e 140.000 lbs/h de vapor. Um BLRB grande típico processará 6.000.000 lbs/dia de sólidos secos e será classificado para 1500 psi MAWP e 850.000 lbs/h de vapor. Os valores de substituição são da ordem de \$ 18.000.000 para o BLRB menor e \$ 40.000.000 para o BLRB maior. A receita diária gerada por uma usina pode ser de US\$ 200.000 para o menor e US\$ 1.000.000 para o maior BLRB. Esses altos valores exigem atenção excepcional à operação e manutenção dos BLRBs para garantir um ótimo retorno do investimento. (THE NATIONAL BOARD, 1998.)

As caldeiras de Recuperação de Licor Negro são projetadas para terem queimadores auxiliares de combustível. Os queimadores auxiliares são localizados próximos ao piso para elevar a temperatura para iniciar a combustão do licor negro e, desta forma, estabilizar a combustão caso venha a ocorrer distúrbios durante o processo. Preocupação especial se deve ao elevado risco de explosões de gás combustível em BLRBs que é semelhante ao de qualquer grande caldeira aquatubular. De acordo com o *The National Board*: “A experiência de explosão foi muito melhorada pela aplicação de sistemas de controle de combustão de combustível.” (The National Board, 1998). Outros fatores para melhorar e evitar os riscos de explosões foram a adoção de sistemas auxiliares de controle de combustão de combustível que atenda aos requisitos da NFPA 8502. A NFPA<sup>2</sup> 8502 é uma norma americana que prevê requisitos para a “prevenção de explosões/implosões de fornos em caldeiras de múltiplos queimadores.” O sistema prevê que o combustível auxiliar seja desligado quando a queima de licor negro se torna autosustentável e estabilizada” (The National Board, 1998).

Por serem fonte de receitas para a planta de Papel e celulose as caldeiras de recuperação (BLRB), são acompanhadas de perto pelos representantes do proprietário e são feitas visitas diárias nas instalações e montagens da planta, de

---

<sup>2</sup> National Fire Protection Association ou Associação Nacional de Proteção Contra Incêndios

modo a assegurar que os processos de construção, montagem, fabricação e soldagem estão sendo desenvolvidos de modo, seguro e atendendo aos requisitos de qualidade do projeto.

Numa caldeira de recuperação são utilizadas dezenas de quilômetros de sistemas de tubulações que transportam diferentes tipos de fluidos sob pressão. Além das partes pressurizadas, citadas nos parágrafos anteriores e que fazem parte geralmente do escopo do ASME (*American Society for Mechanical Engineers*). Estas tubulações são contempladas no escopo das normas ASME Seção I e ASME B31.1. As duas normas estão mais ligadas com as partes de alta pressão de vapor utilizadas na caldeira e nos sistemas de aquecimento e superaquecimento da água para geração de vapor e envio ao um sistema de geração de energia (Turbina a vapor).

No presente trabalho iremos tratar dos sistema de tubulações auxiliares chamados de tubulações de processo. O estudo se desenvolveu num projeto na área de Papel e Celulose iniciado no ano de 2019 e com previsão de entrega da planta ao cliente para o primeiro trimestre de 2023.

As tubulações de processo para este projeto, por requisito do cliente, fazem parte das normas Europeias (EN 13480) e da Diretiva europeia “97/23/CE *PRESSURE EQUIPMENT DIRECTIVE*”. Como requisito do cliente todos os equipamentos e tubulações enquadrados como PED II e III devem receber a inspeção de um organismo de certificação chamado de *Notified Body* (NoBo) que faz a análise física e documental dos produtos de modo a verificar o atendimento aos requisitos normativos e emitir o selo CE da comunidade europeia.

## **1.1 Justificativa**

Por se tratar de um agrupamento de normas que não fazem parte do nosso cotidiano no Brasil e por estarmos mais familiarizados a trabalhar como normas Americanas como ASME, API, AWS, ASTM, etc, este trabalho de pesquisa tem o objetivo de esclarecer pontos importantes sobre as normas europeias de projeto e fabricação de tubulações. Por fim, este estudo tem também o objetivo de trazer um exemplo de qualificação de procedimento de soldagem EPS atendendo a todos os requisitos da Norma EN 15614 e compará-lo com a norma ASME IX.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo do presente estudo é entender os requisitos da norma DIN EN 13480 e da Diretiva europeia 97/23/CE com relação aos requisitos de projeto e classificação de equipamentos pressurizados e concluir com uma qualificação de procedimento de soldagem pela norma DIN EN ISO 15614 *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials*.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Identificar os requisitos das Normas Europeias com relação a classificação e enquadramento dos sistemas de tubulações nos diferentes tipos de classificações: PED 4.3, I, II, III.

Identificar os requisitos do projeto em processo de instalação no Uruguai e verificar o alinhamento com a normas europeias.

Elaborar um roteiro para a qualificação de procedimento de soldagem preliminar para os sistemas de tubulações utilizando o material P235GH.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Diretiva Europeia e Requisitos do Projeto.

O ser humano durante todo o decorrer de sua recente trajetória no decurso da história do universo tem feito esforços significativos e alcançado conquistas enormes no desenvolvendo novas tecnologias. Este processo é ao mesmo tempo científico e criativo. É notável como Civilizações inteiras, organizações e, principalmente, indivíduos atingiram êxito, nunca antes experimentado, por um simples motivo: "...fazendo o que nunca foi feito antes. Um excelente exemplo é o uso seguro e eficiente do vapor". (THE BABCOCK & WILCOX COMPANY, 2005).

Diante do exposto acima, podemos concluir que o processo de evolução humana passou por diversas fases de aprendizado e evolução do conhecimento.

Os processos de fabricação de tubulações e equipamentos industriais representam um grande avanço tanto tecnológico quanto científico. Entretanto, o conhecimento surge na maioria das vezes de fracassos, de acidentes e muitas vezes da perda de vidas humanas. As normas ASME, por exemplo, surgiram no século XX em decorrência de acidentes graves com caldeiras a vapor onde foram observadas perdas de dezenas de vidas humana e enormes prejuízos financeiros.

O surgimento das normas ASME, por exemplo, nasceram a partir da ocorrência de acidentes com grande número de perda de vidas humanas. Um acidente ficou marcado para sempre na história e foi o precursor da norma ASME Seção I. O acidente ocorreu em Brockton nos Estados Unidos na fábrica de calçados Grover Shoe Factory, no ano de 1905. A figura 5 mostra o recorte de jornal da época do acidente do The Washington Times de como era a fábrica de calçados antes do acidente que deixou 58 mortos e 117 feridos. O acidente marcou para sempre a história da indústria e foi o ponto de partida para uma mudança significativa no projeto e construção de equipamentos pressurizados como: caldeiras a vapor, tubulações e vasos de pressão.

Figura 1 – Desastre da grover shoe factory



Fonte: The Washington Times (1905).

Todas as normas de projeto, fabricação e construção de grandes equipamentos surgiram na grande maioria das vezes da necessidade de encontrar soluções para tornar os produtos mais seguros para a utilização, seja para a indústria ou para o uso humano no dia-a-dia. Com as normas EN, a história não foi muito diferente, entretanto no caso das EN um dos fatos mais importantes foi a necessidade de estabelecer padrões comuns de normalização, pois muitos padrões eram adotados até então nos diferentes países membros da comunidade europeia. Dessa forma, surgiu a necessidade de padronizar e uniformizar os padrões adotados na União Europeia.

2.1.1 Norma DIN EN 13480 – Tubulação metálica industrial

A norma DIN EN 13480 é a norma Europeia elaborada para definir requisitos, métodos de fabricação, inspeção, materiais e projeto de tubulações industriais. Na Europa as Normas EN são consideradas normas Nacionais e tem poder regulatório ou seja, tem força de lei.

De acordo com a Norma europeia DIN EN 13480 para tubulações industriais metálicas consiste em oito partes interdependentes e não dissociáveis que são assim descritas e divididas (DIN EN 13480-1, 2017):

- a) Parte 1: Geral;
- b) Parte 2: Materiais;
- c) Parte 3: projeto e cálculo;
- d) Parte 4: fabricação e instalação;
- e) Parte 5: Inspeção e teste;
- f) Parte 6: requisitos adicionais para tubulações enterradas;
- g) CEN/TR 13480-7, Orientação sobre o uso de procedimentos de avaliação de conformidade;
- h) Parte 8: Requisitos adicionais para tubulação de liga de alumínio e alumínio.

Como estamos mais interessados neste estudo sobre a qualificação de procedimentos de soldagem, faremos apenas uma breve abordagem dos capítulos da norma, porém o foco será na parte 2 e parte 4 que tratam respectivamente de materiais e fabricação.

#### 2.1.2 Requisitos gerais – norma DIN EN 13480-1

O escopo da Norma DIN EN 13480 está relacionado com a especificação e os requisitos para sistemas e suportes de tubulação industrial, incluindo sistemas de segurança, feitos de materiais metálicos com vista para garantir uma operação segura.

A norma europeia também é aplicável à tubulação metálica acima do solo, ductada ou enterrada, independentemente da pressão.

As exclusões a esta norma estão descritas no escopo da Norma DIN EN 13480-1 – Requisitos Gerais.

Tabela 1 – Classificação das tubulações norma DIN EN 13480

Fluido	Grupo de fluidos (ver CEN/TR 13480-7:2002, 4.2)	Critério	Categoria
Gases <sup>a</sup>	1	$PS > 0,5$ bar e $DN > 350$ ou $PS > 0,5$ bar e $DN > 100$ e $PS \cdot DN > 3\ 500$	III
		$PS > 0,5$ bar e $100 < DN \leq 350$ e $PS \cdot DN \leq 3\ 500$ ou $25 < DN \leq 100$ e $PS \cdot DN > 1\ 000$ ou $25 < DN \leq 350$ e $1\ 000 < PS \cdot DN < 3500$	II <sup>b</sup>

Fluido	Grupo de fluidos (ver CEN/TR 13480-7:2002, 4.2)	Critério	Categoria	
		$PS > 0,5$ bar e $25 < DN \leq 100$ e $PS \cdot DN \leq 1\ 000$	I <sup>b</sup>	
		$PS > 0,5$ bar e $DN \leq 25$	0 (ver 5.2)	
	2	$PS > 0,5$ bar e $DN > 250$ e $PS \cdot DN > 5\ 000$	III	
		$PS > 0,5$ bar e $DN > 250$ e 3 $500 < PS \cdot DN \leq 5\ 000$ ou $100 < DN \leq 250$ e $PS \cdot DN > 3\ 500$	II <sup>c</sup>	
		$PS > 0,5$ bar e $DN > 32$ e 1 $000 < PS \cdot DN \leq 3\ 500$ ou $32 < DN \leq 100$ e $PS \cdot DN > 1\ 000$	I	
		$PS > 0,5$ bar e $DN \leq 32$ ou $PS > 0,5$ bar e $PS \cdot DN \leq 1000$	0 (see 5.2)	
	All	$PS \leq 0,5$ bar	(see 5.3)	
Líquidos <sup>d</sup>	1	$PS > 500$ bar e $DN > 25$	III	
		$10 \text{ bar} < PS \leq 500$ bar e $DN > 25$ e $PS \cdot DN > 2\ 000$	II	
		$0,5 \text{ bar} < PS \leq 10$ bar e $PS \cdot DN > 2\ 000$	I	
		$PS > 0,5$ bar e $DN \leq 25$ ou $PS > 0,5$ bar e $PS \cdot DN \leq 2\ 000$	0 (ver 5.2)	
	2	$PS > 500$ bar e $DN > 200$	II	
		$10 < PS \leq 500$ bar e $DN > 200$ e $PS \cdot DN > 5\ 000$	I	
		$0,5 \text{ bar} < PS \leq 10$ bar ou $PS > 0,5$ bar e $DN \leq 200$ ou $PS > 0,5$ bar e $PS \cdot DN \leq 5\ 000$	0 (ver 5.2)	
	Todos	$PS \leq 0,5$ bar	(ver 5.3)	
	<p><sup>a</sup> Gases: gases, gases liquefeitos, gases dissolvidos sob pressão, vapores e aqueles líquidos cuja pressão de vapor na temperatura máxima permitida é superior a 0,5 bar acima da pressão atmosférica normal de 1,013 bar (1 013 mbar).</p> <p><sup>b</sup> As tubulações para gases instáveis que se enquadram na categoria I ou II com base na tabela acima devem ser classificadas na categoria III. (Um gás instável é um gás ou vapor passível de transformação espontânea e repentina, que produz uma variação de pressão quando esta transformação ocorre em um volume fechado sob o único efeito de uma pequena variação em um dos parâmetros de operação.)</p> <p><sup>c</sup> Todas as tubulações que contenham gases a uma temperatura superior a 350 °C que se enquadrem na categoria II com base na tabela acima devem ser classificadas na categoria III.</p> <p><sup>d</sup> Líquidos: líquidos com uma pressão de vapor à temperatura máxima admissível não superior a 0,5 bar acima da pressão atmosférica normal de 1,013 bar (1 013 mbar).</p>			

Fonte: DIN EN 13480-4, 2017.

A norma DIN EN 13480-1 define os tipos de tubulações de acordo com o tipo de fluido, a pressão de projeto e o diâmetro nominal dos tubos. Além disso, leva em consideração o cálculo da Pressão pelo DN ( $PS \times DN$ ) que é a referência para



determinar a categoria PED da tubulação. A Tabela 2 define os requisitos a serem considerados quando o enquadramento das tubulações é necessário.

#### 2.1.3 DIN EN 13480-2 - materiais

A parte 2 da Norma Europeia 13480 especifica os requisitos para materiais (incluindo materiais de revestimento metálico) para tubulações industriais e suportes cobertos pela EN 13480-1 fabricada a partir de materiais metálicos. A norma define que “Atualmente, está limitado a aços com ductilidade suficiente. Esta parte desse padrão europeu não é aplicável aos materiais na faixa de fluência”. (DIN EN 13480-2, 2017).

A norma ainda especifica que outros materiais serão adicionados posteriormente por alterações que vierem a ocorrer, seja por desenvolvimento ou por alterações na norma.

A norma especifica ainda os requisitos para a seleção, inspeção, teste e marcação de materiais metálicos para a fabricação da tubulação industrial.

#### 2.1.4 DIN EN 13480-3 – projeto e cálculo

A parte 3 da Norma EN 13480 estabelece os requisitos para projeto e o cálculo dos sistemas de tubulação metálicas industriais, incluindo seus respectivos suportes, cobertos por esta norma.

A norma DIN EN 13480-3 estabelece os requisitos básicos, define as regras a serem seguidas, os métodos de cálculo e definições gerais aplicáveis ao projeto de tubulações industriais.

Como não é o escopo deste estudo o aprofundamento dos requisitos de projeto de tubulações, esta parte da norma será citada apenas quando necessário.

#### 2.1.5 DIN EN 13480-4 – fabricação e instalação

De acordo com a norma DIN EN ISO 13480-4, esta parte da norma europeia estabelece os requisitos para fabricação e instalação de sistemas de tubulação, incluindo suportes, projetados de acordo com a EN 13480-3:2017. Esta norma está dividida da seguinte forma e estabelece os seguintes requisitos:

- a) Capítulo 1 –
  - General – Define os escopo de aplicação da norma
- b) Capítulo 2 Referências normativas
  - Define as normas de referência para a aplicação desta norma.

- c) Capítulo 3 Termos e definições
  - Estabelece os principais termos e definições relevantes para esclarecimento e aplicação da norma.
- d) Capítulo 4 Símbolos
- e) Capítulo 5 Geral
  - 5.1 Requisitos do fabricante;
  - 5.2 Requisitos para fabricantes e instaladores de tubulações e suportes
  - 5.3 Requisitos para fabricação e instalação
  - 5.4 Classificação da tubulação
  - 5.5 Agrupamento de materiais
  - 5.6 Tolerâncias
- f) Capítulo 6 Corte e chanfro
- g) Capítulo 7 Dobramento e outras conformações;
- h) Capítulo 8 Instalação da tubulação
- i) Capítulo 9 Soldagem
  - 9.1 Pessoal de soldagem
  - 9.2 Especificações do procedimento de soldagem
  - 9.3 Procedimentos de soldagem
  - 9.4 Metais de adição e materiais auxiliares
  - 9.5 Condições climáticas
  - 9.6 Limpeza antes e depois da soldagem
  - 9.7 Preparação conjunta
  - 9.8 Proteção das arestas
  - 9.9 Montagem para soldagem
- j) Capítulo 10 Ajuste e reparo
- k) Capítulo 11 Marcação e documentação
- l) Capítulo 12 Requisitos adicionais

Atenção especial foi dada ao capítulo 9 (soldagem), pois está no foco do presente estudo que trata dos requisitos para a qualificação de procedimentos de soldagem conforme a norma DIN EN 13480.

De acordo com a norma DIN EN ISO 13480-4 (2017), os requisitos para a qualificação de procedimentos de soldagem devem ser realizados de acordo com a

Norma DIN EN ISO 15614-1. Mais detalhes da Norma EN ISO 15614-1 serão abordados na parte de materiais e métodos, pois trata diretamente dos requisitos e passos para a qualificação de procedimentos de soldagem.

#### 2.1.6 Requisitos do projeto

De acordo com o requisito T8 - *CE MARKING, INSPECTION AND CERTIFICATION OF PIPING*. É necessário que os sistemas de tubulações fornecidos para o projeto em questão tenham sido projetados, fabricados e instalados de acordo com a diretiva europeia e com os requisitos da Norma EN 13480. Mais detalhes dos requisitos a serem atendidos:

##### Grupos de tubulação

A divisão da tubulação em grupos com base em PED, lei química e regulamentos de líquidos inflamáveis é apresentada no Apêndice I.

Cada tubulação deve ser classificada de acordo com a Diretiva de Equipamentos de Pressão (PED) para uma das seguintes categorias:

A tubulação não está sob a Diretiva de Equipamentos de Pressão. (Pressão máxima permitida < 0,5 bar). Marcação “-“

- Quando a tubulação pertencer ao PED artigo 4 parágrafo 3, a categoria PED deve ser marcada como “4.3”
- A marcação I, II ou III deve ser usada de acordo com a categoria PED da tubulação.
- Marcação IV se a tubulação pertence ao equipamento PED IV.

A tubulação sob a lei química deve ser marcada com a letra “C”. Se a substância de fluxo também for inflamável, de acordo com o Regulamento CLP, também deve ser usada a marcação “F”.

De acordo com o exposto, os requisitos das normas Europeias devem ser aplicados integralmente nos equipamentos do projeto e devem receber a certificação CE, por meio da auditoria de um *Notified Body* (NoBo) que irá auditar todo o processo e caso atendidos os requisitos, certificará o processo pela emissão da marca CE.

#### 2.1.7 Diretiva europeia - pressure equipment directive (PED) 2014/68/EU

A diretiva Europeia “*DIRECTIVE 2014/68/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*” foi publicada em maio de 2014 e está em vigor até o presente momento. Apesar do Uruguai não pertencer à Comunidade Europeia, o cliente deste projeto tem origem Europeia, mais especificamente na

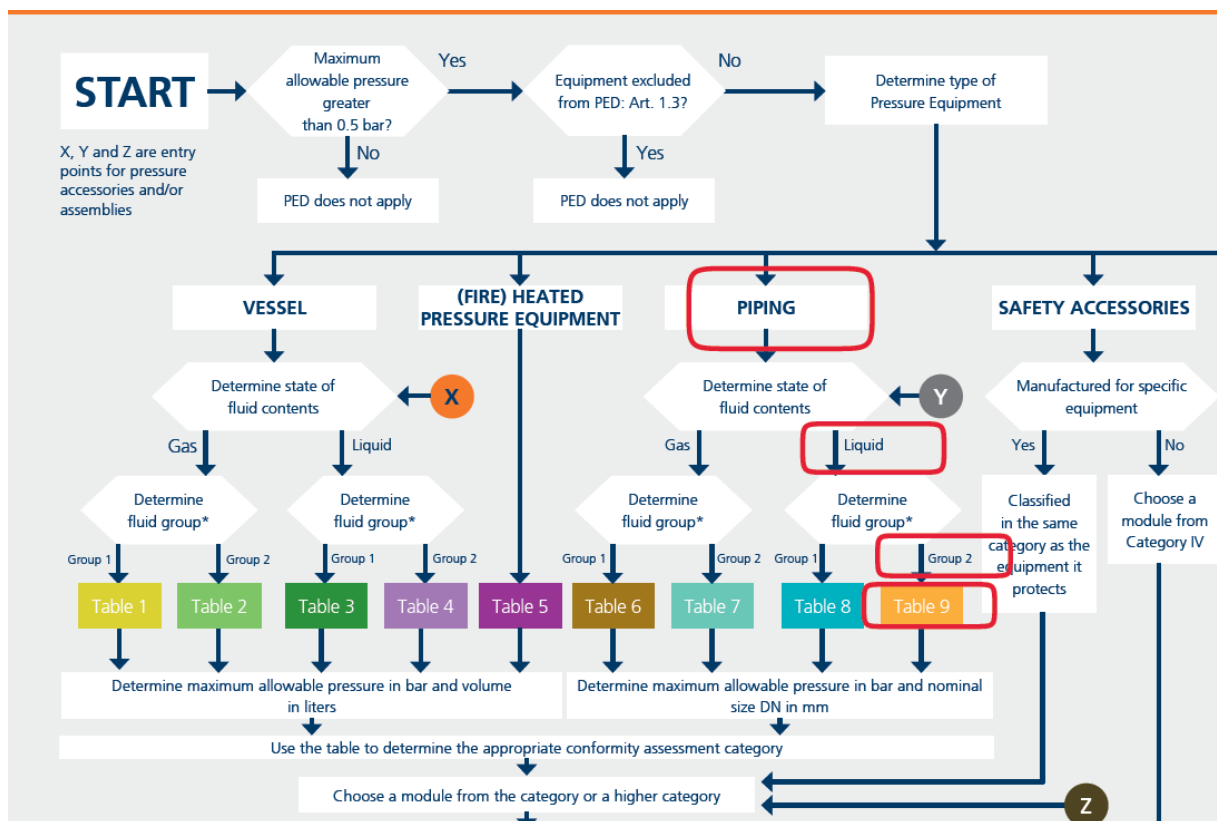
Finlândia, e para a planta industrial em questão, foi estabelecido pelo cliente que as normas EN devem ser aplicadas em sua totalidade.

A Diretiva Europeia para equipamentos pressurizados (PED) é composta de 52 artigos e de 5 anexos nos quais todos os requisitos legais estão estabelecidos.

O enquadramento das classes de tubulações segue as definições da diretiva europeia que leva em consideração o volume de fluido e as pressões de projeto. O volume é calculado com base nos diâmetros das tubulações e as pressões são estabelecidas conforme as necessidades do projeto.

A figura 1, define um processo decisório de como são definidas as categorias de tubulações. O fluxograma de decisão leva em consideração as pressões máximas, os riscos dos fluidos que serão aplicados às tubulações e o volume transportado. Ainda também diferencia entre vasos de pressão e tubulações.

Figura 2 – Enquadramento de tubulações conforme diretiva europeia



Fonte: Lloyd's Register Energy, 2022

No exemplo da figura 1, temos uma tubulação com pressão superior a 0,5 Bar, que não se pode excluir pelo artigo 1.3 da diretiva europeia. O fluido transportado é líquido e no exemplo, utilizou-se a tabela 9, pois o fluido não é considerado perigoso.

Esse exercício é realizado sempre que se precisa determinar a categoria da Tubulação de processo.

### 2.1.8 Materiais e fabricação

A fabricação das tubulações de processo somente deve ser iniciada após aprovada toda a documentação de soldagem. De acordo com a tabela 1, a aprovação da documentação de soldagem (EPS/RQPS) deve ser feita conforme as categorias das tubulações. Quando se tratar de PED Class II e III, a aprovação dos documentos deverá ser feita por uma autoridade responsável. Esta autoridade responsável poderá ser um Organismo de certificação independente (NoBo).

Tabela 2 – Responsabilidade pela qualificação dos documentos de soldagem

<b>Categoria</b>	<b>Requisito</b>
II e III	Os procedimentos de soldagem devem ser qualificados de acordo com EN ISO 15614-1:2004 ou EN ISO 15613:2004 e aprovados por uma autoridade responsável <sup>a</sup> .
I	Os procedimentos de soldagem para o equipamentos sob pressão devem ser qualificados de acordo com EN ISO 15614-1:2004 ou EN ISO 15613:2004 conforme relevante, a menos que as especificações de projeto especifiquem que EN ISO 15611:2003 ou EN ISO 15612:2004 é aceitável.
0	Os procedimentos de soldagem no equipamento de pressão devem ser qualificados de acordo com EN ISO 15614-1:2004, EN ISO 15611:2003, EN ISO 15612:2004 ou EN ISO 15613:2004. Os procedimentos de soldagem em peças de retenção sem pressão devem ser qualificados de acordo com a norma EN ISO 15610:2003.

NOTA As categorias são dadas na EN 13480-1.

<sup>a</sup> Autoridade responsável: Organização competente independente do fabricante. Para aplicação dentro da jurisdição da União Europeia, esta organização pode ser um organismo notificado ou uma organização terceirizada reconhecida.

Fonte: DIN EN 13480-4, 2017.

## 2.2 ASME B31.3 – tubulação de processo

De modo a entender as diferenças entre as normas EN e as normas ASME, se faz necessário um estudos do conteúdo e dos requisitos da Norma ASME B31.3 que trata do Projeto, fabricação, inspeção e montagem de tubulações de processo.

A norma ASME B31.3 está subdividida em 10 capítulos e 19 apêndices, distribuídos da seguinte maneira:

- a) Capítulo I – Escopo e Definições: Descreve as disposições gerais da norma com as suas responsabilidades e limitações e as definições de termos relativos ao assunto, tipo de categoria de fluidos de serviço pertinentes à norma.
- b) Capítulo II – Projeto: que apresenta os seguintes tópicos
  - Parte 1 – Condições e Critérios
  - Parte 2 – Projeto de Pressão de Componentes de Tubulação
  - Parte 3 – Fluido de Serviço Requisitos para Componentes de Tubulação
  - Parte 4 – Fluido de Serviço Requisitos para Juntas de Tubulação
  - Parte 5 – Flexibilidade e Suportes
  - Parte 6 – Exigências de Projeto Pertinentes a Sistemas de Tubulação Específicos
- c) Capítulo III – Materiais: Descreve as limitações e qualificações exigidas para os materiais aplicáveis em sistemas de tubulação.
- d) Capítulo IV – Requisitos para os Componentes
- e) Capítulo V – Fabricação, Construção e Montagem:
  - Descreve todos os requisitos e exigências de soldagem incluindo preparação das juntas e peças para soldagem, padronização de chanfros, qualificação de soldadores, operadores de soldagem e procedimentos de soldagem, pré-aquecimento, tratamento térmico, padrão de defeitos de soldagem, extensão de ensaios não destrutivos e critérios de aceitação de descontinuidades em juntas soldadas
- f) Capítulo VI – Exames, Inspeção e Testes: Descrição de referências, métodos e limitações para os exames não-destrutivos aplicados na inspeção de soldas de tubulações e seus acessórios, além de requisitos de testes de estanqueidade e de dureza
- g) Capítulo VII – Tubulações Não-Metálicas
- h) Capítulo VIII – Sistema de Tubulação com Fluido de Categoria M: (fluidos tóxicos de alta periculosidade): Descreve os requisitos de projeto, limitação para componentes, seleção e limitação de juntas,

critérios de expansão, flexibilidade e suportes, materiais, fabricação, construção e montagem, inspeção e testes.

- i) Capítulo IX – Tubulação de Alta Pressão
- j) Capítulo X – Tubulação de Alta Pureza

Para o presente estudo, estaremos mais interessados no Capítulo V – Fabricação, Construção e Montagem. Este capítulo irá abordar os requisitos de fabricação, os procedimentos de qualificação de procedimentos de soldagem (EPS/RQPS) e de soldadores. Sendo que os requisitos de qualificação de procedimentos serão abordados com mais profundidade.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Requisitos da norma DIN EN ISO 13480

A norma DIN EN ISO 13480 estabelece no capítulo 9 – os requisitos para a qualificação de procedimentos de soldagem. Conforme estabelecido na tabela 9.3.1-1 deve ser utilizada a norma DIN EN ISO 15614-1 para a qualificação dos procedimentos de soldagem para materiais metálicos.

Quando necessário, requisitos adicionais e ensaios devem ser consultados na norma de projeto (DIN EN 13480) para atendimento aos requisitos de projeto.

#### 3.2 Requisitos norma DIN EN ISO 15614-1

As normas EN 13480, EN ISO 15614-1 foram aplicados ao presente estudo de modo a avaliar a quantidade mínima de EPS/RQPS requeridas para atendimento do escopo completo do projeto.

A norma EN ISO 15614 define no escopo a aplicação define dois níveis de qualificação de procedimentos de soldagem chamados de Nível 1 e Nível 2. Quando o contrato estabelecido entre o cliente e o fornecedor não especifica o nível para a qualificação, então automaticamente se considera que é obrigatório a qualificação de procedimentos de soldagem pelo nível 2, mais restritivo.

De modo a reduzir a quantidade de documentos a serem analisados e focar principalmente na maior quantidade possível de juntas a serem soldadas, foram retiradas da análise as juntas de ângulo (fillet welds) as ramificações (*branch connections*) e foram mantidas apenas as juntas de topo, que representam para a Caldeira de Recuperação um total de aproximadamente 19500 juntas.

Para entender a quantidade mínima de EPS/RQPS a serem qualificadas para atendimento ao projeto se faz necessário entender todos os requisitos das Normas EN para a qualificação de procedimentos de soldagem EN ISO 15614-1:2017.

No presente estudo, foi adotada a norma em sua edição de 2017, pois até 2012 a EN ISO 15614-1 tinha limitações maiores quanto aos diâmetros das amostras para a qualificação o que requeria uma quantidade ainda maior de procedimentos de soldagem.



### 3.3 Requisitos para a qualificação de EPS pela norma EN

Para iniciar o estudo, vamos começar utilizando um exemplo real de projeto que requer uma qualificação de procedimento para ser soldada.

Retirando-se um exemplo real do projeto em questão, que é uma planta de papel e celulose em construção no Uruguai.

Para iniciar qualquer qualificação de procedimento de soldagem é necessário estabelecer as seguintes variáveis:

- a) Norma de Projeto
- b) Materiais a serem soldados
- c) Diâmetro e espessura dos materiais
- d) Requisitos adicionais de projeto
- e) Processo de soldagem a ser utilizado
- f) Tipo de consumível

Exemplo 1:

**Tipo de junta:** Butt weld (Junta de topo)

**Material de base:** P235GH

**Diâmetro externo:** Ø273 mm (DN250mm ou 10" polegadas)

**Espessura:** 12,5mm

**Desenho:** **5200166-WFM-150-63C1B-II**

A norma EN 15614 define algumas variáveis consideradas essenciais para a qualificação de procedimentos de Soldagem (RQPS/EPS). Essas variáveis são as seguintes:

- a) Processo de soldagem
- b) Metal de base
- c) Metal de adição (fabricante, marca comercial, etc.)
- d) Espessura do metal de base
- e) Diâmetro do metal base (no caso de tubos)
- f) Ângulo de inclinação no caso de boca de lobo (*Branch conextion*)
- g) Posição de soldagem
- h) Tipo de junta e/ou tipo de solda
- i) Dimensão do metal de adição
- j) Tipo de corrente

- k) Aporte de calor (*heat input*)
- l) Temperatura de interpasse
- m) Pós-aquecimento para liberação de hidrogênio
- n) Tratamento térmico

Todas as variáveis listadas acima serão abordadas no presente estudo de modo a esclarecer todos os pontos necessários a serem considerados quando um procedimento de soldagem precisar ser elaborado conforme a DIN EN 15614-1.

De modo a facilitar o entendimento será abordada a norma e todos os itens analisados serão informados de forma “itemizadas” citando o item da norma que trata do respectivo tópico e/ou variável.

Para iniciar começamos citando a norma de projeto e a sua edição.

DIN EN 13480-1 edição 2017

- Item 1 – Escopo
- Item 4 – Partes 2 a 6 da norma DIN EN 13480
- Item 6 – EN 13480-4 – Fabricação e instalação

Iniciando o estudo de caso pela DIN EN 13480-1, seremos conduzidos a analisar os requisitos de soldagem, que é o foco do presente estudo. Os requisitos de soldagem são abordados na parte 4 da norma DIN EN 13480.

DIN EN 13480-4 edição 2017 – Fabricação e Instalação

- Item 1 – (9) – soldagem
- Item 9 – 9.2. (EN ISO 15609) – 9.3 – 9.3.1 – Tabela 9.3.1 – EN ISO 15614-1

Analisando a DIN EN 13480-4, o item 9 nos direciona a entrar na norma DIN EN ISO 15609 e na 15614-1. De forma objetiva, a norma DIN EN ISO 15614-1 é a norma que estabelece os requisitos e as variáveis essenciais para a qualificação de procedimentos de soldagem.

Seguiremos a análise conforme: DIN EN 15614-1 edição 2017 + A1:2019 (E) – Qualificação de Procedimentos de soldagem.

### 3.3.1 Processos de soldagem nomenclatura

A norma ISO 4063 estabelece uma nomenclatura para os processos de soldagem por meio de um número específico que varia em função do tipo de energia utilizada (arco elétrico, gás combustível, resistência elétrica, etc.) e também se o processo é manual, automático, com gás de proteção, com metal de adição ou

processo autógeno e etc. Abaixo segue a descrição do processo de soldagem TIG com metal de adição, conforme a norma ISO 4063.

- Item 1 – ISO 4063 (Processos de soldagem) – A nomenclatura dos processos de soldagem é definida na norma EN ISO 4063
- Processo TIG com metal de adição 141 - soldagem com material de enchimento sólido (arame/haste) Soldagem a arco de tungstênio a gás usando gás inerte e material de preenchimento sólido (arame/haste)
- Gás de proteção: Argônio

### 3.3.2 Metal de base

Assim como a norma ASME IX estabelece um agrupamento de materiais de forma a reduzir a quantidade de procedimentos de soldagem, a norma EN 15614 faz um agrupamento semelhante. De forma a permitir a utilização de materiais conforme as normas americanas foi elaborada a norma ISO/TR 20173 que faz um agrupamento das normas de materiais americanos e sua equivalência com os materiais estabelecidos nas normas EN. Para as definições de agrupamento de materiais (*P Number*). A verificação e os enquadramentos podem ser consultados na norma ISO/TR 20173 – Soldagem – agrupamento de materiais – *American Materials*.

Neste sentido, por exemplo, o material utilizado no presente estudo é o ASTM A106 Gr. B, que no equivalente da norma europeia é um material do grupo 11.

Realizando a qualificação do procedimento com material do grupo 11, temos uma faixa de qualificação de 11 x 11, 11 x 1 e 1 x 1.

### 3.3.3 Formato e dimensões do corpo de prova

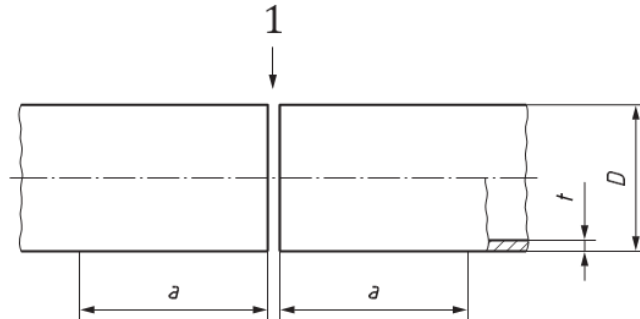
A norma DIN EN 15614 estabelece padrões para a preparação dos corpos de prova a serem utilizados na qualificação dos procedimentos de soldagem.

No presente estudo, estamos interessados em juntas de topo com penetração total em tubo de aço carbono. Abaixo na figura 5 é apresentada a configuração típica de uma junta de topo em tubulação.

A preparação das juntas deve ser feita conforme a norma ISO 1708-1 – Soldagem – Detalhes básicos em juntas soldadas para aços – Part 1 – Componentes pressurizados. Em complemento à norma ISO 1708-1, também é necessário consultar a norma DIN EN ISO 9692-1 - Soldagem e processos afins – Tipos de preparação de

juntas. A norma DIN EN ISO 9692-1 define os tipos de preparação das juntas para os processos de soldagem manual (MMA), GMAW, GW, TIG.

Figura 3 – Peça de teste junta de topo com penetração total



#### Legenda

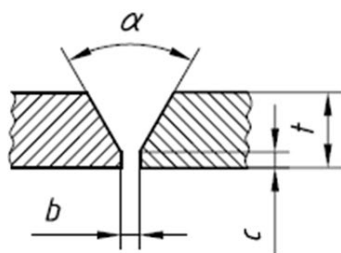
- 1 preparação e ajuste da junta conforme detalhado na especificação preliminar do procedimento de soldagem (pWPS)
- $a$  Dimensão mínima de 150 mm
- $D$  Dimâmetro externo
- $t$  Espessura do material

Fonte: DIN EN ISO 15614-1, 2017

Um exemplo típico de preparação de juntas para a soldagem, conforme definido na norma DIN EN ISO 9692-1 é apresentado na figura 6.

Figura 4 – Peça de teste junta de topo com penetração total

Materiais com espessura  $5 \leq t \leq 40$

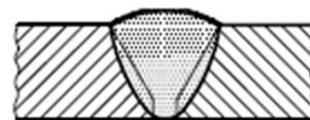


Junta preparada para a soldagem

$$\alpha \approx 60^\circ$$

$$1 \leq b \leq 4$$

$$2 \leq c \leq 4$$



Junta soldada

Fonte: DIN EN ISO 9692-1, 2017

### 3.3.4 Peça de teste de soldagem

A norma DIN EN ISO 15614-1 define que a preparação e a soldagem das peças de teste devem ser realizadas de acordo com a EPS preliminar, que elas devem representar. As posições de soldagem e as limitações para o ângulo de inclinação e rotação da peça de teste devem estar de acordo com a ISO 6947. Ainda, se soldas provisórias forem fundidas na junta final, elas devem ser incluídas na peça de teste.

A norma DIN EN ISO 15614-1 exige que a soldagem e o teste da peça de teste devem ser verificados pelo examinador ou corpo examinador.

### 3.3.5 Tipo e extensão dos ensaios

Para a qualificação do procedimento de soldagem são necessários diversos ensaios destrutivos e não destrutivos. O tipo e a extensão dos ensaios varia de acordo com o nível de qualificação, tipo de junta soldada e requisitos adicionais de impacto, e dureza quando condições específicas de projeto são requeridas.

Tabela 3 – Tipo e extensão de ensaios para qualificação de RQPS

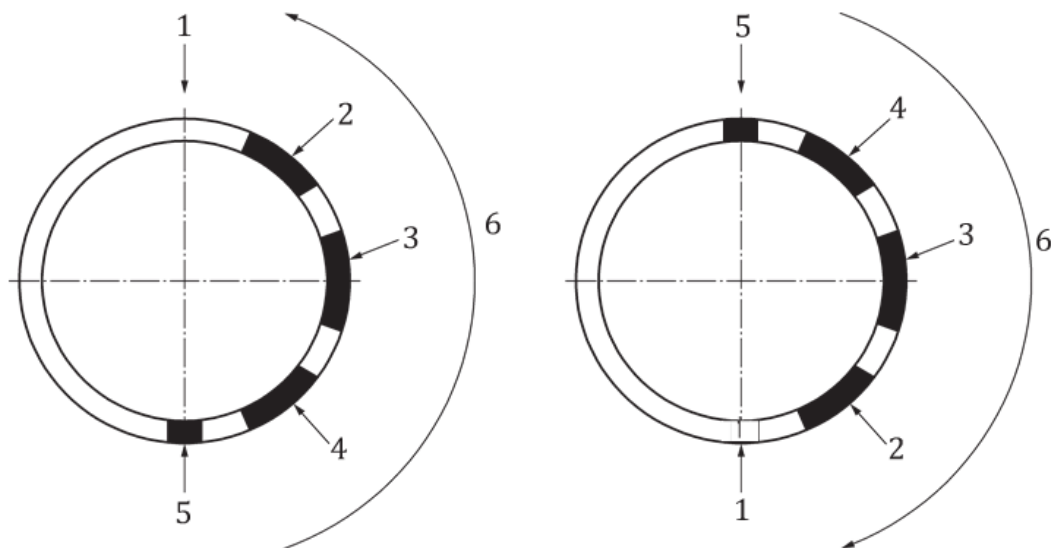
Peça de teste	Tipo de teste	Extensão do teste	Nota
Junta de topo com penetração total — <a href="#">Figura 1</a> e <a href="#">Figura 2</a>	Exame visual	100 %	—
	Exame de Radiografia or Ultrassom	100 %	a
	Detecção de trinca superficial	100%	b
	Teste de tração transversal	2 specimens	—
	Teste de dobramento	4 specimens	c
	Teste de impacto	2 sets	d
	Teste de dureza	required	e
	Exame de macrografia	1 specimen	—
<p><sup>a</sup> O teste ultrassônico não deve ser usado para <math>t &lt; 8</math> mm e não para grupos de materiais 8, 10, 41 a 48.</p> <p><sup>b</sup> Superfícies de solda acessíveis: teste de penetração ou teste de partícula magnética. Para materiais não magnéticos, teste de penetração.</p> <p><sup>c</sup> Para teste de dobramento, ver <a href="#">7.4.2</a>.</p> <p><sup>d</sup> Um conjunto no metal de solda e outro na HAZ para materiais <math>\geq 12</math> mm espessura e com propriedades de impacto especificadas exigidas pelas condições técnicas de entrega e/ou, se apropriado, de acordo com as condições de serviço. Os padrões de aplicação podem exigir testes de impacto abaixo de 12 mm de espessura. A temperatura de ensaio deve ser escolhida pelo fabricante em relação à aplicação ou normas de aplicação. Para testes adicionais, consulte <a href="#">7.4.4</a>.</p> <p><sup>e</sup> Não é necessário para metais originais: subgrupo 1.1, grupos 8 e 41 a 48 e juntas dissimilares entre esses grupos, exceto para juntas dissimilares entre o subgrupo 1.1 e o grupo 8.</p> <p><sup>f</sup> Onde as propriedades mecânicas são exigidas por um padrão de aplicação, elas devem ser testadas de acordo. Se for necessária uma peça de teste adicional, as dimensões devem ser suficientes para permitir o teste das propriedades mecânicas. Para esta peça de teste adicional, a faixa de parâmetros de soldagem, grupo de material de base, metal de adição e tratamento térmico devem ser os mesmos.</p> <p><sup>g</sup> Para diâmetro externo <math>\leq 50</math> mm, nenhum teste ultrassônico é necessário, mas o teste radiográfico é necessário, desde que a configuração da junta forneça resultados válidos. Para diâmetro externo <math>&gt; 50</math> mm e onde não for tecnicamente possível realizar testes ultrassônicos, um teste radiográfico deve ser realizado, desde que a configuração da junta forneça resultados válidos.</p>			

Fonte: DIN EN ISO 15614-1, 2017.

### 3.3.6 Posição e retirada dos CP's

A posição e retirada dos CP's segue uma regra conforme a posição de soldagem e os pontos de maior e menor aporte de calor. Cada retirada de CP leva em consideração o ensaio a ser realizado os pontos de início e fim da soldagem e os pontos de maior e menor "heat input". A figura 7 define a forma e de retirada dos CP's para os ensaios mecânicos na qualificação de procedimentos de soldagem.

Figura 5 – Posição e retirada dos CP's



#### Legenda

- 1 Fim da solda
  - 2 área para:
    - 1 corpo de prova de tração
    - corpos de prova de dobramento
  - 3 área para:
    - impacto e amostras de teste adicionais, se necessário
  - 4 área para:
    - 1 corpo de prova de tração
    - corpos de prova de dobramento
  - 5 início da solda; área para:
    - 1 espécime de teste macro
    - 1 amostra de teste de dureza (retirada do início da solda)
  - 6 direção da solda
- NOTA Não está em escala.

Fonte: DIN EN ISO 15614-1, 2017

### 3.3.7 Exames não destrutivos

A norma DIN EN ISO 15614-1 estabelece que todos os ensaios não destrutivos de acordo com a tabela 4 devem ser realizados e aceitos nos corpos de prova antes

do corte dos corpos de prova. O descarte (quando houver) não deve ser considerado para END. Qualquer tratamento térmico pós-soldagem (PWHT) especificado deve ser concluído antes do teste não destrutivo.

Para materiais que são suscetíveis a trincas induzidas por hidrogênio e onde nenhum pós-aquecimento ou nenhum PWHT é especificado, o teste não destrutivo deve ser adiado de forma a permitir que o hidrogênio seja liberado pela junta soldada e as possíveis trincas por hidrogênio sejam detectadas.

Dependendo da geometria da junta, materiais e requisitos de trabalho, o NDT deve ser realizado conforme exigido os níveis de qualificação (Nível 1 e nível 2). De acordo com a ISO 17637 (teste visual), ISO 17636-1 ou ISO 17636-2 (teste radiográfico), ISO 17640 (teste ultrassônico), ISO 3452-1 (teste penetrante) e ISO 17638 (teste de partículas magnéticas). Os níveis de aceitação devem estar de acordo com o item 7.5 da norma DIN EN 15614-1 e transcritos abaixo:

Tabela 4 – Níveis de imperfeições permitidos para qualificação de RQPS

ISO 5817 Ref. no.	ISO 6520-1 Ref. no.	Definição	Nível 1	Nível 2 Nível de qualidade pela ISO 5817
1.1	100	Trinca	Não permitido	B (Não permitido)
1.5	401	Falta de fusão (penetração incompleta)	Não permitido	B (Não permitido)
1.6	4021	Falta de penetração na raiz	Não permitido	B (Não permitido)
1.7	5011 5012	Mordedura contínua Imordedura intermitente	Nenhum requisito específico	C
1.9	502	Reforço excessivo (junta de topo)	Nenhum requisito específico	C
1.10	503	Convexidade excessiva (solda em ângulo)	Nenhum requisito específico	C
1.11	504	Penetração excessiva	Nenhum requisito específico	C
1.12	505	Margem da solda incorreta	Nenhum requisito específico	C
1.16	512	Assimetria excessiva de solda de ângulo (comprimento desigual excessivo das pernas)	$h \leq 3 \text{ mm}$	B
1.21	5214	Espessura excessiva da garganta	Nenhum requisito específico	C
—	—	Todas as outras imperfeições <sup>a</sup>	Nenhum requisito específico	B

<sup>a</sup> Se exigido pelo padrão de aplicação ou especificado, materiais sensíveis a microfissuras podem precisar de exame específico.

Fonte: DIN EN ISO 15614-1, 2017.

### 3.3.8 Faixa de qualificação dos metais de base

A faixa de qualificação dos metais de base é feita conforme o agrupamento de materiais estabelecido pela norma.

A norma DIN EN ISO 15614-1 estabelece que para minimizar o número de testes de procedimento de soldagem, os aços, níquel e ligas de níquel os materiais são agrupados de acordo com a ISO/TR 15608. A norma também define que quando os materiais são atribuídos a grupos pela ISO/TR 20172, ISO/TR 20173 ou ISO/TR 20174, essas atribuições devem ser usadas.

O requisito normativo estabelece que qualificações de procedimento de soldagem separadas são necessárias para cada material base ou combinações de material base não cobertas pelo sistema de agrupamento de acordo com ISO/TR 20172, ISO/TR 20173, ISO/TR 20174 ou ISO/TR 15608.

O material do cobre-junta permanente deve ser considerado como metal original dentro do (sub-) grupo de aprovação.

Tabela 5 – Faixas de metais de base para qualificação de RQPS

Peça de teste Material A	Peça de teste Material B										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	1-1 2-1	1-1 2-1 2-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	1-1 2-1 3-1	1-1 2-1 2-2 3-1 3-2 3-3	1-1 2-1 2-2 3-1 3-2 3-3	—	—	—	—	—	—	—	—
4	4-1	4-1 4-2	4-1 4-2 4-3	4-1 4-2 4-3 4-4	—	—	—	—	—	—	—

<sup>a</sup> Os materiais das peças de teste nos grupos 1, 2, 3 e 11 qualificam os aços com limite de escoamento mínimo especificado igual ou inferior (independentemente da espessura do material).

<sup>b</sup> Os materiais da peça de teste nos grupos 4, 5, 6, 8 e 9 qualificam os aços no mesmo subgrupo e qualquer subgrupo inferior dentro do mesmo grupo.

<sup>c</sup> Os materiais das peças de teste dos grupos 7 e 10 qualificam os aços do mesmo subgrupo.

Fonte: DIN EN ISO 15614-1, 2017 (adaptado parcial).



Por exemplo, materiais do grupo 1 com grupo 1 qualificam todos os metais do grupo 1 e subgrupos abaixo: exemplo metal do subgrupo 1.2 qualifica metal de base do subgrupo 1.1

No estudo de caso o metal de base P235GH é um metal do grupo 1 e subgrupo 1.1. Como estamos utilizando um metal de base do grupo 11 a qualificação do procedimento terá a faixa de 11.1 com 11.1, 11.1 com 1.1 e 1.1 com 1.1.

### 3.3.9 Faixa de espessura qualificada

A norma DIN EN 15614 determina que os limites de qualificação do material de base original e do metal depositado devem respeitar os limites estabelecidos na tabela 7 para as juntas de topo. A norma determina ainda que os limites qualificados do metal depositado não devem ser excedidos em soldas de produção, exceto que a espessura da solda de ângulo não deve ser considerada.

É definido ainda que ambas as partes do material de base a serem soldadas devem estar dentro dos limites de espessura qualificados. Uma exceção é definida quando materiais de base possuem espessuras diferentes. Para este caso, não há limite para a parte mais espessa, desde que a qualificação tenha sido realizada em material de base de 30 mm ou mais (DIN EN ISO 15614-1, 2020).

A norma EN ISO 15614-1 estabelece que “Para qualificação multiprocesso, a espessura registrada do metal depositado de cada processo deve ser usada como base para a faixa de qualificação para o processo de soldagem individual” (DIN EN ISO 15614-1). A norma DIN EN ISO 15614 define que uma soldagem feita com multiprocessos não deve ser soldada em produção com um único processo qualificado. Os parâmetros e faixas estabelecidos na qualificação do procedimento devem ser os mesmos para as soldas de produção.

No nosso exemplo, como a espessura do material é de 12,5 mm, a faixa de qualificação será  $t/2$  a  $2t$ , ou seja 6,25mm a 25mm. Como a espessura qualificada é maior do que 12 milímetros é requerido para o aço carbono ensaio de charpy. Caso o ensaio de charpy não seja realizado, o limite de qualificação é de 12mm.

### 3.3.10 Faixa de diâmetro qualificada

As faixas de qualificação de diâmetro estão apresentadas na figura 8 no capítulo 4. As faixas de diâmetro servem apenas para procedimentos qualificados com o nível 2. Para o nível 1 o diâmetro não é variável essencial.

A norma estabelece que se uma qualificação de procedimento de soldagem em junta de topo para tubos também cobre soldas de topo em chapas. No entanto a qualificação dada para chapas também abrange tubos, porém quando o diâmetro externo é  $>500$  mm ou quando o diâmetro externo for  $>150$  mm soldado no PC, na posição rotacionada PF ou na posição rotacionada PA.

Para o nosso exemplo, como o diâmetro do tubo de teste é de 273mm a faixa qualificada fica  $\geq 0,5D$ , assim  $173,5\text{mm} \geq$  (maior ou igual a 173,5mm).

### 3.3.11 Requisitos comuns para todos os procedimentos de soldagem

As posições de soldagem estão especificadas na norma ISO 6947. Para se qualificar todas as posições de soldagem a peça de teste deve estar na posição H-L045. Esta posição qualifica todas as posições, exceto PG & J-L045 (Posição vertical descendente e posição vertical descendente com ângulo de  $45^\circ$ ).

A Norma DIN EN 15614-1 define que: “Quando não são especificados requisitos de impacto nem de dureza, a soldagem da peça de teste em qualquer posição (tubo ou chapa) qualifica para soldagem em todas as posições (tubo ou chapa) (DIN EN 15614-1, 2020).

Para qualificação de todas as posições de soldagem, os seguintes requisitos devem ser atendidos:

- as amostras para teste de impacto devem ser retiradas da solda na posição de maior aporte de calor;
- as amostras para teste de dureza devem ser retiradas da solda na posição de entrada de calor mais baixa.

Para satisfazer os requisitos de dureza e impacto, são necessárias duas peças de teste em diferentes posições de soldagem, a menos que seja necessária uma única qualificação de posição ou no caso de um tubo fixo ser usado para a qualificação. Quando a qualificação for exigida para todas as posições, ambas as peças de teste devem ser submetidas a testes visuais completos e outros métodos não destrutivos.

A soldagem vertical descendente (posições de soldagem PG, PJ e J-L045) deve ser qualificada por uma peça de teste específica. Para material do grupo 10, as posições de entrada de calor mais baixa e mais alta devem ser submetidas a testes de impacto.

O norma DIN EN 15614-1 define que para soldas de topo em chapa, a posição de maior aporte de calor é normalmente PF e PA e a posição de aporte de calor mais baixa é PC e PE.

### 3.3.12 Tipo de junta e solda

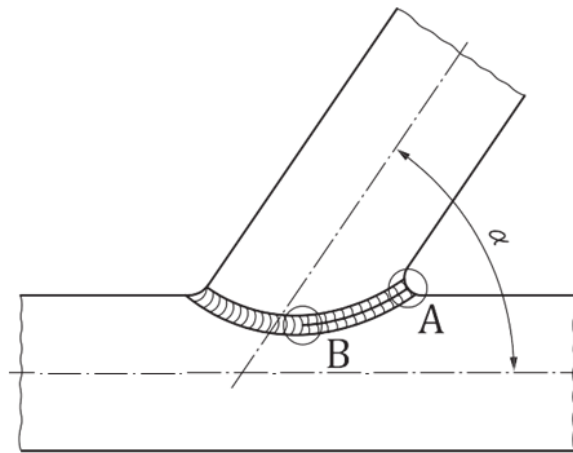
A Norma DIN EN ISO 15614-1 (2020) determina o seguinte quando trata do tipo de junta para a qualificação de procedimentos de soldagem:

Para o nível 2: A faixa de qualificação para o tipo de juntas soldadas é aquela usada no teste de procedimento de soldagem sujeito às limitações dadas em outras cláusulas (por exemplo, espessura) e adicionalmente:

- a) soldas de topo qualificam soldas de topo de penetração total e parcial e soldas de ângulo, enquanto testes de solda de ângulo são necessários onde juntas em T são executadas por soldas de ângulo ou soldas de topo de penetração parcial na forma predominante de conexões soldadas em relação ao projeto e soldagem de produção;
- b) soldas de topo com penetração total qualificam soldas de topo com penetração total e parcial e soldas de ângulo em qualquer tipo de junta;
- c) juntas de topo em tubos qualificam conexões de derivação com um ângulo  $\alpha \geq 60^\circ$  (ver Figura 4 para  $\alpha$ );
- d) soldas de topo em juntas T com penetração total qualificam soldas de topo com penetração total e parcial em juntas T e soldas de ângulo, mas não vice-versa;
- e) as soldas de ângulo qualificam somente a soldagem de ângulo;
- f) soldas feitas de um lado sem cobre-junta qualificam-se soldas feitas de ambos os lados e soldas com cobre-junta;
- g) soldas feitas com cobre-junta qualificam soldas feitas de ambos os lados;
- h) soldas feitas em ambos os lados sem remoção da raiz qualificam-se soldas feitas em ambos os lados com remoção da raiz (exceto goivagem térmica);
- i) soldas feitas de ambos os lados com ou sem goivagem qualificam soldas feitas de um lado com cobre-junta;
- j) quando os requisitos de impacto ou dureza se aplicam, não é permitido mudança de uma solda multi-passe em uma solda de passe único (ou único passe de cada lado) ou vice-versa para um determinado processo;
- k) soldagem de built-up (reconstrução). Uma built up é qualificada pela peça de teste de solda de topo;
- l) a aplicação de amanteigamento deve ser executada por uma peça de teste separada em combinação com a solda de topo. (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p. 39).

Pela descrição da norma, no nosso exemplo o procedimento qualifica soldas de topo total e parcial, soldas em ângulo de qualquer tipo e espessura e ramificações (*branch connections*) com ângulo maior ou igual a 60°. A representanação do ângulo “alfa” é dado pela figura 8.

Figura 6 – Representação do ângulo de uma derivação



**Legenda**

- A amostra de teste macrografia e de dureza a ser retirada
- B amostra de teste macrografia a ser retirada
- $\alpha$  ângulo da derivação (boca de lobo)

Fonte: DIN EN ISO 15614-1, 2017

### 3.3.13 Material de adição, fabricante/nome comercial, designação

A norma DIN EN ISO 15614, 2020, estabelece que para o nível 2 os metais de adição utilizados na qualificação do procedimento de solagem cobrem outros metais de adição, desde que, atendam a mesma designação na norma à qual pertencem ou que foram utilizadas para a sua fabricação. Além disso, os metais de adição devem ter propriedades mecânicas equivalentes o mesmo tipo de revestimento, no caso de eletrodo revestido ou núcleo fluxado para arame tubulação ou assemelhado, mesma composição química nominal e o mesmo ou menor teor de hidrogênio (DIN EN ISO 15614-1, 2020).

A norma DIN EN ISO 15614-1 define ainda que:

Quando o teste de impacto é exigido pelo padrão de aplicação em temperaturas inferiores a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para os processos 111, 114, 12, 136 e 132 de acordo com a ISO 4063, a faixa de validade é restrita ao nome comercial do fabricante do metal de adição utilizado no teste do procedimento. Neste caso, também é permitido mudar o fabricante do material de adição para outro com a mesma parte obrigatória da designação, desde que uma peça de teste adicional seja soldada usando a máxima entrada de calor qualificada e apenas amostras de teste de impacto de metal de solda devem ser testadas. Isso não se aplica a arames sólidos e varetas com a mesma designação e composições químicas nominais. (DIN EN ISO 15614-1, 2020, pg 40).

Para o nosso estudo de caso, o metal de adição utilizado será o ER70S-3. Portanto, a faixa de metal de adição permitida será dentro da mesma especificação técnica, composição química semelhante e mesma resistência mecânica.

#### 3.3.14 Dimensão do metal de adição

A norma DIN EN ISO 15614-1 permite variação nas dimensões do metal de adição desde que sejam atendidos os requisitos estabelecidos para o “heat input” definido no item 8.4.7 da edição de 2020 da mesma norma.

Caso não haja requisitos de impacto nem de dureza, não há limitação nas dimensões do metal de adição.

Como nosso exemplo exige requisito de impacto, para alterar as dimensões do metal de adição é necessário controlar os requisitos de heat input. Portanto, para facilitar o controle deste aspecto é mais fácil limitar o uso do metal de adição para as mesmas dimensões das utilizadas na qualificação do procedimento.

No presente estudo será utilizada vareta TIG com espessura de 3,25mm. Portanto a espessura máxima é a utilizada na qualificação do procedimento.

#### 3.3.15 Tipo de corrente e polaridade

De acordo com a norma DIN EN ISO 15614-1, “A qualificação é dada pelo tipo de corrente [corrente alternada (CA), corrente contínua (CC), corrente pulsada] e polaridade utilizada no teste do procedimento de soldagem” (2020, p. 41).

Quando se tratar de procedimento de soldagem qualificado pelo processo de eletrodo revestido (111), “...a corrente alternada também qualifica a corrente contínua (ambas as polaridades), a menos que seja necessário um teste de impacto”. (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p. 41).

Para o nosso estudo, a qualificação será corrente contínua com polaridade direta, ou seja CC-.

### 3.3.16 Aporte de calor (energia do arco)

A norma DIN EN ISO 15614-1 define que o aporte de calor pode ser substituído pela energia do arco. O cálculo da energia do arco deve ser feita de acordo com a norma ISO/TR 18491. “Ao usar o cálculo para o aporte de calor, o fator k de acordo com a ISO/TR 17671-1 deve ser considerado. O tipo de cálculo, aporte de calor ou energia do arco, deve ser documentado” (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p 41).

A norma EN 15614-1 define ainda que para o nível 2:

Quando os requisitos de impacto se aplicam, o limite superior do aporte de calor qualificado é 25% maior do que o usado na soldagem da peça de teste. Quando os requisitos de dureza se aplicam, o limite inferior do aporte de calor qualificado é 25% menor do que o usado na soldagem do corpo de prova. Se o teste do procedimento de soldagem foi executado em um nível de aporte de calor alto e baixo, todos os níveis de aporte de calor intermediários também são qualificados. Não é necessário calcular cada execução. (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p 41).

### 3.3.17 Pré-aquecimento

O pré-aquecimento é também uma variável essencial pela norma DIN EN ISO 15614-1. O requisito normativo estabelece que “Uma diminuição de mais de 50 °C da temperatura de pré-aquecimento registrada no RQPS requer uma requalificação” (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p 41).

Outro fator importante para a redução da temperatura de pré-aquecimento, segundo a norma EN 15614-1 é que:

“Uma diminuição da temperatura de pré-aquecimento é permitida somente se os requisitos relativos ao pré-aquecimento (especialmente a espessura combinada) forem atendidos, por exemplo, ISO/TR 17671-2” (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p 41).

A temperatura de pré-aquecimento pode ser definida estabelecendo-se uma tabela com os dados do material e que também dependerá da espessura do material (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p 41).

### 3.3.18 Temperatura de interpasse

A qualificação de procedimentos de soldagem pela norma EN 15614-1, também deve levar em consideração a temperatura de interpasse.

A norma estabelece que:

Um aumento de mais de 50 °C na temperatura máxima de interpasse alcançada no ensaio do procedimento de soldagem deve exigir requalificação.

Um aumento da temperatura de pré-aquecimento aplicado intencionalmente durante a soldagem dos passes de acabamento para reduzir a dureza na HAZ de um teste de procedimento de soldagem deve ser considerado como uma variável essencial. Tanto a temperatura mínima de pré-aquecimento aplicada quanto as temperaturas de pré-aquecimento aplicadas durante a soldagem dos passes de acabamento devem ser relatadas (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p 41).

Portanto, ao estabelecer uma temperatura de interpasse durante a qualificação do procedimento de soldagem, há que se levar em consideração que apenas um aumento de 50°C é permitido para as soldas de produção sem que seja necessário uma nova requalificação de procedimento de soldagem.

### 3.3.19 Pós-aquecimento para liberação de hidrogênio

A norma DIN EN ISO 15614-1 estabelece que para o nível 2: “A temperatura e a duração do pós-aquecimento para liberação de hidrogênio não devem ser reduzidas. O pós-aquecimento não deve ser omitido, mas pode ser adicionado” (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p 41).

Dessa forma, caso seja necessário estabelecer um pós-aquecimento para a liberação de hidrogênio durante a qualificação do procedimento, o mesmo não pode ser omitido para as soldagens de produção. Entretanto, se não foi definido o pós-aquecimento durante a qualificação do procedimento e seja necessário implementá-lo durante a produção a norma não exige requalificação para a inclusão do pós-aquecimento.

### 3.3.20 Tratamento térmico

O tratamento térmico é estabelecido no item 8.4.11 da Norma DIN EN ISO 15614-1 e está transcrito na sua íntegra:

A adição ou exclusão de tratamento térmico pós-soldagem não é permitida.

Uma qualificação de procedimento separada é necessária para cada uma das seguintes condições:

a) Para materiais ISO/TR 15608 grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11, aplicam-se as seguintes condições PWHT:

1) PWHT abaixo da temperatura de transformação mais baixa (por exemplo, alívio de tensão);

2) PWHT acima da temperatura de transformação superior (por exemplo, normalizando);

3) PWHT acima da temperatura de transformação superior seguida de tratamento térmico abaixo da temperatura de transformação inferior (por exemplo, normalização ou têmpera seguida de revenimento);

4) PWHT entre as temperaturas de transformação superior e inferior.

Para o nível 2: A faixa de temperatura validada é a temperatura de manutenção usada no teste do procedimento de soldagem  $\pm 20$  °C, a menos que especificado de outra forma. Quando necessário, taxas de aquecimento, taxas de resfriamento e tempo de espera devem ser relacionados ao produto.

b) Para todos os outros materiais, aplica-se o PWHT dentro de uma faixa de temperatura especificada. (DIN EN ISO 15614-1, 2020, p 41).

A verificação da necessidade de tratamento térmico pós-soldagem deve ser avaliada conforme o item 9.14 da norma EN 13480-4 Tabela 9.14.1-1 ou Tabela 9.14.1-2 da mesma referida norma.

De acordo com a tabela Tabela 9.14.1-1 o tratamento térmico para materiais dos grupos 1.1 e 1.2 somente são obrigatórios quando as espessuras são maiores ou iguais a 35mm. Abaixo disso, somente em condições especiais como: por exemplo, corrosão sob tensão, fragilização por hidrogênio, baixas temperaturas.

No nosso presente estudo, não há essa necessidade, portanto o tratamento térmico está excluído do estudo.

Os tópicos tratados até então são os mais importantes quando se trata de qualificação de procedimentos de soldagem e as descrições feitas anteriormente, em conjunto com a norma de qualificação de procedimentos de soldagem servem de guia para a elaboração de um RQPS/EPs.

A seguir trataremos do mesmo assunto, porém iremos utilizar a norma ASME B31.3 e o ASME IX para estabelecer os requisitos e as faixas de qualificação de procedimento de soldagem.

### **3.4 Requisitos para a qualificação de RQPS pelo ASME B31.3**

A norma de projeto para o projeto, fabricação e instalação de tubulações de processo pelo ASME é estabelecido na norma ASME B31.3 (*Process Piping*).

No presente capítulo iremos abordar, da mesma forma como foi feito na norma DIN EN ISO 13480, os requisitos da norma ASME B31.3 para a qualificação de procedimentos de soldagem. Será elaborado um guia para analisar e determinar as variáveis essenciais e as faixas de qualificação de procedimentos de soldagem.

**Estudo de caso:** Estabelecer os requisitos e parâmetros para a qualificação de procedimento de soldagem conforme a Norma ASME B31.3 para a seguinte junta:



Tabela 6 – Exemplo 2 – Qualificação de procedimento ASME IX

<i>Variável</i>	<i>Aplicação</i>
<i>Norma de projeto</i>	ASME B31.3 ed 2020
<i>Tipo de junta</i>	Topo (Butt weld)
<i>Material</i>	P235GH (ASTM A106 GrB)
<i>Diâmetro externo</i>	Ø273mm (10 polegadas)
<i>Espessura</i>	12,5mm
<i>Processo de soldagem</i>	141 (TIG)

Fonte: Próprio autor.

Para iniciar o nosso estudo, precisamos identificar as variáveis principais (essenciais, não essenciais e suplementares do ASME IX).

A norma ASME B31.3 estabelece alguns requisitos para a qualificação de procedimentos que são complementados pelo ASME IX, que são:

- a) Pré-aquecimento
- b) Tratamento térmico
- c) Impacto

Além dos requisitos acima, ainda temos no ASME IX as seguintes variáveis a serem consideradas:

- d) Junta
- e) Metal Base
- f) Metal de adição
- g) Posição
- h) Pré-aquecimento
- i) Tratamento térmico
- j) Gás
- k) Características elétricas
- l) Técnica

No presente estudo iremos abordar apenas os itens que são considerados variáveis essenciais para o processo, conforme definido no código ASME. As variáveis essenciais são aquelas que requerem nova qualificação de procedimento quando alteradas.

### 3.4.1 Pré-aquecimento

Vamos iniciar nosso estudo pelo pré-aquecimento, que é um requisito estabelecido pelo ASME B31.3.

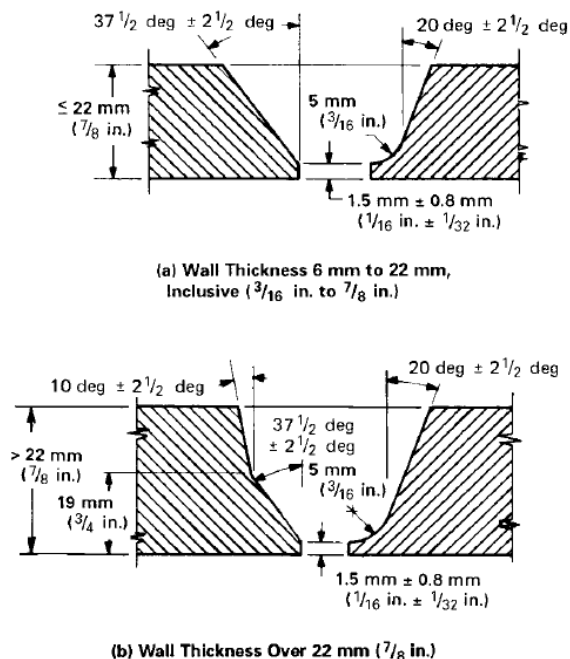
Entrando no ASME B31.3 edição 2020, temos os seguintes tópicos a considerar:

#### ASME B31.3 edição 2020

- Capítulo 1 – Escopo e definições (a) – (d) (2) – [para. 300.2 e apêndice M \_ Figura M300]
- Capítulo V
  - o Item 327 – 328 – 328.1 – 328.2 [ASME BPVC, Section IX] – Preparação de EPS/RQPS e qualificação de soldadores.
  - o Item 328.4 - 328.4.2 Preparação final [Figura 328.4.2 – Preparação da junta]

Figura 7 – Chanfros típicos para juntas de topo conforme ASME B31.3

Figure 328.4.2 Typical Butt Weld End Preparation



Fonte: ASME BPVC B31.3, 2020

- Item 330 – Pré aquecimento – 330.1.1 – Tabela 330.1.1 [ASME BPCV, Seção IX] – 330.1.1.3(c). Pré-aquecimento mínimo de 10°C

Conforme estabelecido na norma ASME B31.3 que está apresentado na tabela 8, o limite mínimo de pré-aquecimento para P Number 1 com espessura abaixo de 25mm (nosso exemplo) é de 10°C. Portanto, a soldagem não deve ser executada abaixo dessa temperatura.

Tabela 7 – Requisitos de pré-aquecimento conforme ASME B31.3

Base Metal P-No. [Note (1)]	Base Metal Group	Greater Material Thickness		Additional Limits [Note (2)]	Required Minimum Temperature	
		mm	in.		°C	°F
1	Carbon steel	≤25	≤1	None	10	50
		>25	>1	%C ≤ 0.30 [Note (3)]	10	50
		>25	>1	%C > 0.30 [Note (3)]	95	200
3	Alloy steel, Cr ≤ ½%	≤13	≤½	SMTS ≤ 450 MPa (65 ksi)	10	50
		>13	>½	SMTS ≤ 450 MPa (65 ksi)	95	200
		All	All	SMTS > 450 MPa (65 ksi)	95	200
4	Alloy steel, ½% < Cr ≤ 2%	All	All	None	120	250
5A	Alloy steel	All	All	SMTS ≤ 414 MPa (60 ksi)	150	300
		All	All	SMTS > 414 MPa (60 ksi)	200	400
5B	Alloy steel	All	All	SMTS ≤ 414 MPa (60 ksi)	150	300
		All	All	SMTS > 414 MPa (60 ksi)	200	400
		>13	>½	%Cr > 6.0 [Note (3)]	200	400
6	Martensitic stainless steel	All	All	None	200 [Note (4)]	400 [Note (4)]
9A	Nickel alloy steel	All	All	None	120	250
9B	Nickel alloy steel	All	All	None	150	300
10I	27Cr steel	All	All	None	150 [Note (5)]	300 [Note (5)]
15E	9Cr-1Mo-V CSEF steel	All	All	None	200	400
...	All other materials	...	...	None	10	50

NOTES:  
 (1) P-Nos. and Group Nos. from ASME BPVC, Section IX, Table QW/QB-422.  
 (2) SMTS = Specified Minimum Tensile Strength.  
 (3) Composition may be based on ladle or product analysis or in accordance with specification limits.  
 (4) Maximum interpass temperature 315°C (600°F).  
 (5) Maintain interpass temperature between 150°C and 230°C (300°F and 450°F).

Fonte: ASME B31.3 edição 2020.

No ASME IX o requisito “QW-406.1 Uma diminuição de mais de 100°F (55°C) na temperatura de pré-aquecimento qualificada. A temperatura mínima para soldagem deve ser especificada na EPS” define limites para o pré-aquecimento e fora dos quais é necessário requalificar uma EPS (ASME IX, 2021).

Como nosso procedimento de Soldagem será qualificado, conforme requerido pela Norma ASME B31.3, com um pré-aquecimento mínimo de 10°C. Portanto a EPS

estaria qualificada para soldar em qualquer condição. Temos que de qualquer forma limitar o pré-aquecimento a 10°C por exigência da B31.3.

### 3.4.2 Tratamento térmico

O tratamento térmico é outro requisito a ser considerado conforme a norma de projeto. O ASME IX não estabelece requisitos de tratamento térmico, somente exige que se o tratamento térmico foi aplicado na qualificação do procedimento, este passa a ser variável essencial e deve ser realizado na soldagem de campo.

No ASME B31.3 a pesquisa para verificar o tratamento térmico é feito conforme os itens:

- Item 331 - Tratamento Térmico – 331.1 – 331.1.1 (a) (b) – Tabela 331.1.1 e tabela 331.1.3. [P Numbers de acordo com ASME IX QW/QB-422].
  - o Item 331.1.3 (a) (b) (c).
  - o 331.1.4 – Taxa de aquecimento e resfriamento.

Tratamento térmico não requerido para P Number 1 com espessura menor que 25mm. Portanto o TTAT será desconsiderado para a nossa qualificação de procedimento.

No ASME IX o tratamento térmico é tratado da seguinte forma:

#### QW-407 TRATAMENTO TÉRMICO PÓS SOLDAGEM

QW-407.1 Uma qualificação de procedimento separada é necessária para cada um dos seguintes:

(a) Para os números P de 1 a 6 e 9 a 15F, aplicam-se as seguintes condições de tratamento térmico pós-soldagem:

(1) nenhum TTAT

(2) TTAT abaixo da temperatura de transformação mais baixa

(3) TTAT acima da temperatura de transformação superior (por exemplo, normalizando)

(4) TTAT acima da temperatura de transformação superior acima da temperatura de transformação superior seguida de tratamento térmico abaixo da temperatura de transformação inferior (por exemplo, normalização ou têmpera seguida de revenimento)

(5) TTAT entre as temperaturas de transformação superior e inferior

(b) Para todos os outros materiais, aplicam-se as seguintes condições de tratamento térmico pós-soldagem:

(1) nenhum TTAT

(2) TTAT dentro de uma faixa de temperatura especificada (ASME IX, 2021).

O tratamento térmico é uma variável essencial do processo, porém no caso do P Number 1 com espessura abaixo de 25 mm não é obrigatório o TTAT, portanto nossa RQPS será qualificada sem TTAT.

Agora entraremos nos itens que são variáveis essenciais pela norma ASME IX.

### 3.4.3 Metal base

Faremos abaixo uma itemização dos pontos que devem ser considerados para se analisar e entender os requisitos para a qualificação de procedimentos de soldagem conforme o ASME IX.

#### **ASME BPVC, Seção IX – Ed 2021**

Parte QG – Requisitos gerais

- QG-100 – Escopo – (a) (2) – Parte QW

Artigo I – Parte QW

- QW-100 – QW-101 [Artigo II]

Artigo II – Qualificação de Procedimentos de Soldagem.

- QW-200 – QW-200.1 – QW-250 – QW-251 – QW-251.1 – Tabela QW-256 [welding variables for GTAW]. QW-251.2 – Variáveis essenciais e suplementares.

QW-251.2 Variáveis Essenciais. As variáveis essenciais são aquelas em que uma alteração, conforme descrito nas variáveis específicas, é considerada como afetando as propriedades mecânicas da solda e, portanto, deve exigir a requalificação da EPS.

Variáveis essenciais suplementares são necessárias para metais para os quais o código de referência, norma ou especificação requer testes de tenacidade e são adicionais às variáveis essenciais para cada processo de soldagem.

Quando os requisitos de tenacidade são invocados por um código de referência, padrão ou especificação, as variáveis essenciais suplementares são aplicáveis a soldas de chanfro e filete (ASME IX, 2021 p.85).

Para processo TIG (GTAW) é necessário utilizar as variáveis descritas na tabela QW-256.

Tabela 8 – Tabela QW-256 – variáveis do processo GTAW

Tabela QW-256  
Especificações de Procedimento de Variáveis de Soldagem (EPS) – Gas Tungsten-Arc  
Welding (GTAW)

Parágrafo	Sumário de Variáveis	Essencial	Suplementar Essencial	Não essencial
QW-402 Junta	.1 $\phi$ Projeto do Chanfro			X
	.5 + Cobre-junta			X
	.10 $\phi$ Abertura de raiz			X
	.11 $\pm$ Retentores			X
QW-403 Metal de Base	.5 $\phi$ Número do Grupo		X	
	.6 $T$ Limite		X	
	.8 $T$ Qualificada	X		
QW-404 Metal de Adição	.11 $\phi$ P-No. qualificado	X		
	.3 $\phi$ Dimensão			X
	.4 $\phi$ F-Number (número F)	X		
	.5 $\phi$ A-Number (Número A)	X		
	.12 $\phi$ Classificação		X	
	.14 $\pm$ Filler (Metal de adição)	X		
	.22 $\pm$ Consum. Insert (Inserto consumível)			X
	.23 $\phi$ Forma de produto de metal de adição	X		
	.30 $\phi$ $t$	X		
	.33 $\phi$ Classificação			X
QW-405 Posição	.50 $\pm$ Fluxo			X
	.1 + Posição			X
	.2 $\phi$ Posição		X	
QW-406 Pré-aquecimento	.3 $\phi$ $\uparrow\downarrow$ Progressão de soldagem Vertical			X
	.1 Decréscimo > 100°F (55°C)	X		
QW-407 PWHT	.3 Acréscimo > 100°F (55°C) (IP)		X	
	.1 $\phi$ PWHT (Tratamento térmico pós soldagem)	X		
	.2 $\phi$ PWHT (T & T faixa)		X	
QW-408 Gas	.4 $T$ Limite	X		
	.1 $\pm$ Trail ou $\phi$ comp.			X
	.2 $\phi$ Simples, mistura, or %	X		
	.3 $\phi$ Flow rate			X
	.5 $\pm$ or $\phi$ Fluxo do gás de purga			X
	.9 - Purga ou $\phi$ comp.	X		
QW-409 características elétricas	.10 $\phi$ Proteção ou trailing	X		
	.1 > Heat input (Aporte térmico)t		X	
	.3 $\pm$ Corrente Pulsada			X
	.4 $\phi$ Corrente ou polaridade		X	X
	.8 $\phi$ I & E range (Faixa de Corrente e Tensão)			X
	.12 $\phi$ Eletrodo de tungstênio			X

Cont.

Parágrafo	Sumário de Variáveis	Essencial	Suplementar Essencial	Não essencial
QW-410 Técnica	.1 $\phi$ Estreito/oscilante			X
	.3 $\phi$ Orifício, bocal, ou diâmetro do bocal			X
	.5 $\phi$ Método de limpeza			X
	.6 $\phi$ Método de goivagem			X
	.7 $\phi$ Oscilação			X
	.9 $\phi$ Multi para único passe/lado		X	X
	.10 $\phi$ Único para vários eletrodos		X	X
	.11 $\phi$ Fechado para câmara aberta	X		
	.15 $\phi$ Espaçamento do eletrodo			X
	.25 $\phi$ Manual ou automático			X
	.26 $\pm$ Martelamento			X
.64	Uso de processos térmicos	X		

+ Adição                      > Aumentar/maior que                      ↑ Ascendente                      ← Empurrada                       $\phi$  Change  
- Remoção                      < Redução/menor que                      ↓ Descendente                      → Puxada

Fonte: ASME IX edição 2021.

### QW-403 Metal Base

Item QW-403.8 – Espessura qualificada.

Conforme o ASME IX edição 2021 “QW-403.8 Uma mudança na espessura do metal base além da faixa qualificada em QW-451, exceto conforme permitido por QW-202.4(b).” Requer nova qualificação de procedimento.

QW-450 – QW-451 – Tabela QW-451.1

Tabela 9 – Faixas de qualificação ASME IX para metais de base e adição

**QW-450 SPECIMENS**  
**QW-451 PROCEDURE QUALIFICATION THICKNESS LIMITS AND TEST SPECIMENS**

**Table QW-451.1**  
**Groove-Weld Tension Tests and Transverse-Bend Tests**

Thickness $T$ of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness $T$ of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]		Maximum Thickness $t$ of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{1}{16}$ (1.5)	$T$	$2T$	$2t$	2	..	2	2
$\frac{1}{16}$ to $\frac{3}{16}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{1}{16}$ (1.5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
Over $\frac{3}{16}$ (10), but less than $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2T$ when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33T	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33T	1.33T when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..

NOTES:  
(1) The following variable further restricts the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table. Supplementary essential variable requirements may also further limit thickness ranges in this table.  
(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.  
(3) For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, LLBW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or  $2T$ , or  $2t$ , whichever is applicable.  
(4) see QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).  
(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness  $T$  is  $\frac{3}{16}$  in. (10 mm) and over.  
(6) For test coupons over 6 in. (150 mm) thick, the full thickness of the test coupon shall be welded.

(21)

Fonte: ASME IX edição 2021.

Conforme a tabela QW-451.1 utilizando-se uma peça de teste acima de 10mm de espessura a faixa qualificada será de 5mm a 2T para o metal base e 2t para o metal de adição.

Como nossa peça de teste é de 12,5mm a faixa qualificada para o metal base é de 5mm a 25mm.

- QW-403 Metal Base
- Item QW-403.11 – P number qualificado.

Conforme o requisito do ASME IX “QW-403.11 Os metais de base especificados na EPS devem ser qualificados por um teste de qualificação de procedimento feito com metais de base de acordo com QW-424” (ASME IX, 2021).

QW-424 – O metais de base devem estar de acordo com as especificações listadas no QW/QB-422.



QW-424.1 Os metais de base recebem números P na Tabela QW/QB-422; metais que não aparecem na Tabela QW/QB-422 são considerados metais não atribuídos, exceto quando definido de outra forma para metais de base com os mesmos números UNS. Os metais não atribuídos devem ser identificados na EPS e no RQPS por especificação, tipo e grau, ou por análise química e propriedades mecânicas. A resistência à tração mínima deve ser definida pela organização que especificou o metal não atribuído se a resistência à tração desse metal não for definida pela especificação do material (ASME IX, 2021 p.225).

Tabela 10 – Classificação dos metais base conforme o número P.

Table QW/QB-422 Ferrous and Nonferrous P-Numbers Grouping of Base Metals for Qualification (Cont'd)											
Spec. No.	Designation, Type, or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing			Nominal Composition	Typical Product Form	Nominal Thickness Limits, in. (mm)
				P-No.	Group No.	P-No.	AWS B2.2 BM	ISO 15608 Group			
Ferrous (Cont'd)											
EN or SA/EN 10028-2	13CrMo4-5	...	61 (420)	4	1	102	110	5.1	1Cr-0.5Mo	Plate	>6 (150) ≤10 (250)
EN or SA/EN 10028-2	13CrMo4-5	...	62.5 (430)	4	1	102	110	5.1	1Cr-0.5Mo	Plate	>4 (100) ≤6 (150)
EN or SA/EN 10028-2	13CrMo4-5	...	64 (440)	4	1	102	110	5.1	1Cr-0.5Mo	Plate	>2.4 (60) ≤4 (100)
EN or SA/EN 10028-2	13CrMo4-5	...	65.5 (450)	4	1	102	110	5.1	1Cr-0.5Mo	Plate	≤2.4 (60)
EN or SA/EN 10028-2	13CrMoSi5-5+QT	...	71 (490)	4	1	102	110	5.1	1.25Cr-0.5Mo-Si	Plate	>4 (100) ≤10 (250)
EN or SA/EN 10028-2	13CrMoSi5-5+QT	...	72.5 (500)	4	1	102	110	5.1	1.25Cr-0.5Mo-Si	Plate	>2.4 (60) ≤4 (100)
EN or SA/EN 10028-2	13CrMoSi5-5+QT	...	74 (510)	4	1	102	110	5.1	1.25Cr-0.5Mo-Si	Plate	≤2.4 (60)
EN or SA/EN 10028-2	P235GH	...	52 (360)	1	1	101	100	1.1	C-Mn	Plate	≤2.4 (60)
EN or SA/EN 10028-2	P265GH	...	59.5 (410)	1	1	101	100	1.1	C-Mn	Plate	≤2.4 (60)

Fonte: ASME IX edição 2021 (adaptado pelo autor).

O P235GH é enquadrado no ASME IX como P Number 1. Para saber a faixa qualificada de P Number temos que verificar a tabela do item QW-424

Tabela 11 – Faixa de qualificação conforme item QW-424 ASME IX

Base Metal(s) Used for Procedure Qualification Coupon	Base Metals Qualified
One metal from a P-Number to any metal from the same P-Number	Any metals assigned that P-Number
One metal from a P-Number to any metal from any other P-Number	Any metal assigned the first P-Number to any metal assigned the second P-Number
One metal from P-No. 15E to any metal from P-No. 15E	Any P-No. 15E or 5B metal to any metal assigned P-No. 15E or 5B

Fonte: ASME IX edição 2021 (adaptado pelo autor).

Conforme a tabela do QW-424, um P Number qualquer com o mesmo P Number qualquer qualifica qualquer Metal base de mesmo P Number. No Caso P Number 1. Portanto nossa faixa de qualificação é: P N°1 com PN° 1.

#### 3.4.4 Metal de adição

Outra variável essencial a ser considerada é o metal de adição. O código ASME classifica os metais de adição em “*F Numbers*” que é um agrupamento que considera as especificações técnicas, composição química e requisitos a tração dos metais de adição. Itemização para os metais de adição no código ASME IX:

##### QW-404 – Metais de Adição

É considerada alteração de variável essencial, conforme o ASME IX “QW-404.4 – Alteração no F-Number. Uma mudança de um número F na Tabela QW-432 para qualquer outro número F ou para qualquer outro metal de adição não listado na Tabela QW-432” (ASME IX, 2021).

Para o Metal de Base P235GH ou ASTM A106Gr.B o consumível a ser utilizado é o ER70S-3 Classificação AWS SFA 5.18

Na tabela QW-432 o *F Number* para o SFA-5.18 é F N° 6. Este consumível permite somente a utilização de F Number 6.



Outro requisito a ser considerado é o “A Number” que analisa a composição química do metal depositado.

##### QW-404 – Metais de Adição - Número A (A Number)

Conforme o ASME XI “QW-404.5 (Aplicável somente a metais ferrosos.) Uma mudança na composição química do depósito de solda de um A-Number para qualquer outro A-Number na Tabela QW-442. Qualificação com A-No. 1 qualificar-se-á para A-No. 2 e vice-versa” (ASME IX, 2021).

O A Number pode ser avaliado, conforme informado no QW-404.5 pela composição química informada no certificado de consumível do fornecedor. Abaixo um exemplo de um certificado de consumível da Belgo Bekaert Arames:.

Figura 8 – Certificado de consumível ER70S-3 - exemplo

		<b>CERTIFICADO DE QUALIDADE</b> <b>CERTIFICADO Nº 000000355494</b> <b>Pag. 1/ 1</b>										
Cliente: 41044758 ENGESOLDA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA      Ordem: 6484847 - 20      Data de Impressão: 07/10/2015 Lote/OP: 008861704      Pedido do Cliente: 615 Material: 40400326 AR COB TIG 2,50 HD BME-C3 Produto do Cliente: Norma: ASME SFA5.18 ED07 ER70S3 AWS A5.18-05 ER70S-3 ASME SFA5.18												
<b>Análises Químicas</b>												
Corrida Nº	Um	Al	C	Cr	Cu	Mn	Mo	Ne	P	S	Si	V
B561704		0,0004	0,1000	0,0221	0,0225	1,2810	0,0022	0,0224	0,0150	0,0120	0,5590	0,0043
NORMA AWS A5.18 / A-CLASSIF. DO LOTE S-1 B-NÍVEL TESTE-H / VALORES MÍNIMOS DE NORMA: LIM ESC 400 MPa min. / LIM RES. 480 MPa min. / LONG 50mm 22% min. / CHARPY -25°C 27 J min. / SANIDADE RADIOGRÁFICA: OK A Belgo Bekaert não se responsabiliza por cópias reproduzidas para fornecimento à terceiros. Belgo Bekaert does not accept responsibility for copies that maybe reproduced to supply third-parties.												
Diâmetro: 2,500 mm Quantidade: 360,000 Peso Líquido NF: 720,000		Nota Fiscal: 000851306      Emitida em: 01/10/2015 Data de Criação: 07/10/2015										
												
		André de O. N. Leite Responsável pelo Laboratório Físico										

Fonte: Belgo Bekaert Arames

Fazendo-se a análise do certificado e comparando-a com a tabela QW-432, temos que o ER70S-3 é um A Number 1.

Tabela 12 – Tabela QW-422 ASME IX

Table QW-442 A-Numbers Classification of Ferrous Weld Metal Analysis for Procedure Qualification							
A-No.	Types of Weld Deposit	Analysis, % [Note (1)] and [Note (2)]					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	Mild Steel	0.20	0.20	0.30	0.50	1.60	1.0
2	Carbon-Molybdenum	0.15	0.50	0.40-0.65	0.50	1.60	1.0
3	Chrome (0.4% to 2%)-Molybdenum	0.15	0.40-2.00	0.40-0.65	0.50	1.60	1.0
4	Chrome (2% to 4%)-Molybdenum	0.15	2.00-4.00	0.40-1.50	0.50	1.60	2.0
5	Chrome (4% to 10.5%)-Molybdenum	0.15	4.00-10.5	0.40-1.50	0.80	1.20	2.0
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.0-15.0	0.70	0.80	2.00	1.0
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.0-30.0	1.00	0.80	1.00	3.0
8	Chromium-Nickel	0.15	14.5-30.0	4.00	7.50-15.0	2.50	1.0
9	Chromium-Nickel	0.30	19.0-30.0	6.00	15.0-37.0	2.50	1.0
10	Nickel to 4%	0.15	0.50	0.55	0.80-4.00	1.70	1.0
11	Manganese-Molybdenum	0.17	0.50	0.25-0.75	0.85	1.25-2.25	1.0
12	Nickel-Chrome—Molybdenum	0.15	1.50	0.25-0.80	1.25-2.80	0.75-2.25	1.0

NOTES:  
 (1) Single values shown above are maximum.  
 (2) Only listed elements are used to determine A-numbers.

Fonte: ASME IX edição 2021 (adaptado pelo autor).

Conforme item “QW-404.14 A exclusão ou adição de metal de adição” (ASME IX, 2021).

A Retirada ou inclusão do metal de adição é variável essencial. Portanto, uma vez qualificada a EPS com metal de adição é obrigatória a utilização do metal de adição dentro dos limites estabelecidos na EPS.

QW-404.23 Uma mudança de uma das seguintes formas de produto de metal de adição para outra:

- (a) nu (sólido ou com núcleo de metal)
- (b) núcleo fluxado
- (c) revestido com fluxo (sólido ou com núcleo de metal)
- (d) pó (ASME IX, 2021.)

No nosso exemplo iremos utilizar consumível nu sólido. Portanto uma alteração para núcleo fluxado ou qualquer outra opção, conforme listado acima é variável essencial e requer nova qualificação de RQPS.

QW-404.30 Uma alteração na espessura do metal de solda depositado além do qualificado de acordo com QW-451 para qualificação de procedimento ou QW-452 para qualificação de desempenho, exceto conforme permitido em QW-303.1 e QW-303.2. Quando um soldador é qualificado usando exame volumétrico, aplica-se a espessura máxima indicada na Tabela QW-452.1(b). (ASME IX, 2021.).

Para o metal depositado os limites da qualificação estão descritos conforme a tabela QW-451. No nosso estudo esta tabela foi citada como tabela 10 e está apresentada no item 3.4.2 do presente estudo.

Conforme a tabela QW-451.1 utilizando-se uma peça de teste acima de 10mm de espessura a faixa qualificada será 2t para o metal de adição.

Como nossa peça de teste é de 12,5mm a faixa qualificada para o metal adição máximo é de 25mm.

### 3.4.5 Gás de proteção

QW-408 GÁS

QW-408.2 Uma qualificação de procedimento separada é necessária para cada um dos seguintes:

- (a) uma mudança de um único gás de proteção para qualquer outro gás de proteção único

- (b) uma mudança de um único gás de proteção para uma mistura de gases de proteção e vice-versa
- (c) uma mudança na composição percentual especificada de uma mistura de gás de proteção
- (d) a adição ou omissão de gás de proteção (ASME IX, 2021).

O gás de proteção é uma variável essencial assim como a alteração na composição química em caso de misturas. No nosso exemplo será utilizado gás argônio de 99% - Classificação AWS A5.32 SG-A (99,97% Ar.).

Para finalizar o nosso estudo, existe a variável “Técnica”, que não se aplica ao nosso estudo, portanto não será incluída.

### 3.5 Tubulação de processo

Os sistemas de tubulações em uma planta industrial representam um imenso ativo financeiro. De acordo com Silva Teles:

A importância das tubulações na indústria é enorme; todas as indústrias tem redes de tubulações de maior ou menor importância, e quase todas essas redes são essenciais ao funcionamento da indústria. A importância é ainda maior nas chamadas indústrias de processo<sup>3</sup>, nas quais as tubulações são os elementos físicos de ligação entre os equipamentos (vasos de pressão, reatores, tanques, bombas, trocadores de calor etc.), por onde circulam os fluidos de processo e de utilidades. Nessas indústrias, o valor das tubulações representa, em média, 20 a 25% do custo total da instalação industrial, a montagem das tubulações atinge, em média, 45 a 50% do custo total da montagem de todos os equipamentos, e o projeto das tubulações vale, em média, 20% do custo total do projeto da indústria.

Conforme apresentado pelo autor Silva Telles, o projeto, a instalação e a montagem das tubulações industriais representam um custo significativo quando comparados com o custo total da obra e podem causar sérios danos à planta industrial caso sejam mal dimensionados, mal construídos ou ainda mal instalados.

Dessa forma, o presente estudo visa entender os requisitos normativos e de soldagem das tubulações industriais de acordo com as normas EN e com os requisitos do projeto do Cliente envolvidos na construção de uma planta industrial de papel e celulose no Uruguai.

---

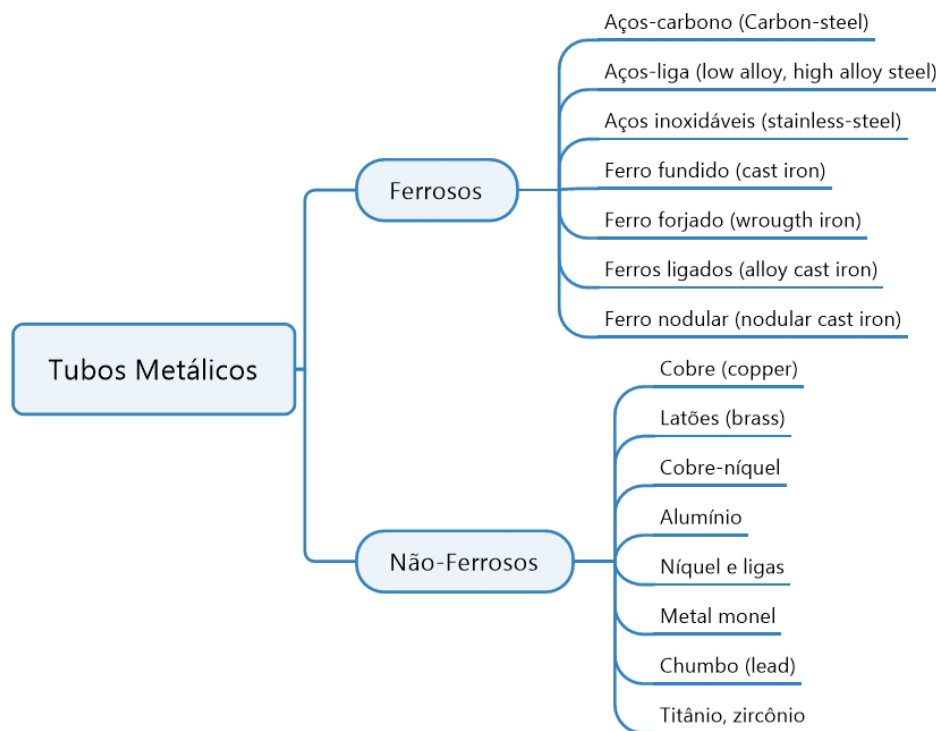
<sup>3</sup> “Indústria de processo” é um termo normalmente utilizado para designar as indústrias em que materiais fluidos sofrem transformações físicas e/ou químicas, ou as que se dedicam a armazenagem, manuseio ou distribuição de fluidos. São geralmente designadas por este termo as plantas químicas, petroquímicas, indústrias de petróleo, papel e celulose, e muitas outras (SILVA TELES, 2001).

### 3.6 Materiais e processos de fabricação de tubos

De acordo com SILVA TELLES, 2001, existem mais de 500 especificações de materiais para tubulações somente quando falamos de ASTM (*American Society for Testing and Materials*), isso mostra que a escolha do material adequado para o projeto de tubulações para por um processo decisivo importante, pois a escolha dos materiais terá implicações diretas no cálculo e no projeto dos sistemas de tubulações.

Os principais materiais utilizados para a fabricação de tubos estão listados a seguir:

Figura 9 – Materiais para fabricação de tubos



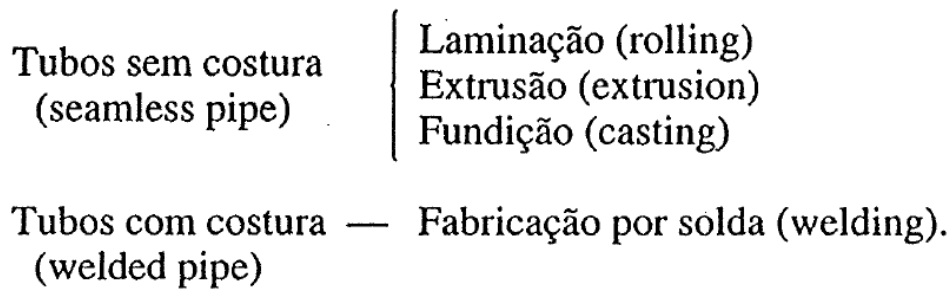
Fonte: SILVA TELLES (2001), adaptado.

Além dos materiais metálicos, há também uma vasta gama de materiais não-metálicos utilizados em tubulações, porém no presente estudo não iremos abordar estes materiais pois não fazem parte do foco principal deste estudo.

### 3.7 Processo de fabricação de tubos

De acordo com Silva Telles, há quatro grupos de processos industriais de fabricação de tubos:

Figura 10 – Processos para fabricação de tubos



Fonte: SILVA TELLES (2001),

Ainda, de acordo com SILVA TELLES: “Os processos de laminação e de fabricação por solda são os de maior importância, e por eles são feitos mais de 2/3 de todos os tubos usados em instalações industriais.”(2001).

Há no mundo hoje inúmeros fabricantes de tubos que utilizam as mais variadas formas de produção, bem como diversas normas e especificações de tubulações são utilizadas.

Nos processos de fabricação de tubos, também existem variações quanto aos materiais e ligas utilizadas na produção dos tubos.

As aplicações de diferentes ligas metálicas tem ligação direta com os tipos de fluidos a serem conduzidos pelos tubos e equipamentos de processo. A seguir serão abordados os principais materiais utilizados no processo de construção de uma planta de papel e celulose, bem como as especificações mais aplicadas.

Nas tubulações utilizadas nas indústrias de processo, principalmente quando se trata de indústrias de Papel e Celulose, são três os principais tipos de materiais de tubulações mais utilizados: aços ao carbono, aços liga e aços inoxidáveis.

### 3.7.1 Aços-carbono

O aço carbono é um dos materiais de maior versatilidade e utilização na indústria. Sua aplicação é das mais diversas, pois seu custo é relativamente mais baixo que os demais materiais existentes, e fora poucas exceções nas quais seu uso é proibitivo, o aço-carbono pode ser utilizado nas mais variadas aplicações. Conforme SILVA TELLES (2001):

Entre todos os materiais industriais existentes, o aço carbono é o que apresenta menor relação custo/resistência mecânica, além de ser um material fácil de soldar e de conformar, e também fácil de ser encontrado no comércio. Por todos esses motivos, o aço-carbono e o chamado "material de uso geral" em tubulações industriais, isto é, só se deixa de empregar o aço-carbono quando houver alguma circunstância especial que o proíba, e desta forma todos os outros materiais são utilizados apenas em alguns casos especiais de exceção. Em uma refinaria de petróleo, por exemplo, mais de 90% de toda tubulação é de aço-carbono; em outras indústrias de processo essa percentagem pode ainda ser maior. Emprega-se o aço-carbono para água doce, vapor de baixa pressão, condensado, ar comprimido, óleos, gases e muitos outros fluidos pouco corrosivos, em temperaturas desde  $-45^{\circ}\text{C}$ , e a qualquer pressão.

Devido a todos os motivos listados acima por Silva Telles, podemos afirmar que o aço-carbono é o material mais utilizado na indústria e seu uso é favorecido pela sua relação custo/benefício. Porém há situações nas quais se necessita de materiais mais resistentes tanto resistência mecânica quanto resistência a corrosão, portanto faremos uma breve explanação dos aço-liga e aços inoxidáveis.

### 3.7.2 Tubos de aço-liga

De acordo com SILVA TELLES (2001), existem duas classes de aços liga que são os mais importantes para a fabricação de tubulações utilizadas na indústria de processo, sendo eles:

- m) Aços-liga molibdênio e cromo-molibdênio.
- n) Aços-liga níquel.

De acordo com Silva Telles (2001), os aços ligados ao molibdênio e ao cromo-molibdenio podem conter percentuais de cromo e molibdênio variando de: até 1% de Mo e até 9% de Cr, nas mais variadas proporções. Os materiais ferríticos são os mais indicados para emprego em altas temperaturas. Percentuais de cromo proporcionam melhoria na resistência a corrosão inclusive em temperaturas elevadas. O cromo contribui ainda na resistência a corrosão em geral, incluindo meios oxidantes. Por isso, quanto maior o percentual de cromo, maior será a resistência a corrosão.

De acordo com Silva Telles "O molibdenio é o elemento mais importante na melhoria da resistência a fluência do aço, contribuindo também para aumentar a resistência a corrosão por pites." (2001). Ainda, de acordo com Silva Telles (2001), "Da mesma forma que os aços-carbono, esses aços-liga sofrem também a transição dúctil-frágil em baixas temperaturas, não devendo por isso ser empregados em nenhum serviço com temperatura inferior a  $0^{\circ}\text{C}$ .". Conforme a tabela abaixo, retirada



do livro “Tubulações Industriais: Materiais, Projeto e Montagem”, há limites tanto de temperaturas quanto de ambientes adequados para cada tipo de materiais utilizados na fabricação de tubulações industriais:

Pelo motivos relacionados acima pelo autor Silva Telles, há necessidade de uma escolha adequadas dos aços liga de modo a tornar as tubulações mais duráveis e seguras para aplicação.

Tabela 13 – Especificação de materiais e temperatura para uso

Especificação ASTM e grau Tubos sem costura	Elementos de liga (%)			Limites de tem- peratura para serviço contínuo não corrosivo (°C)
	Cr	Mo	Ni	
A-335 Gr. P1	—	½	—	480
A-335 Gr. P5	5	½	—	480
A-335 Gr. P7	7	½	—	480
A-335 Gr. P9	9	1	—	600
A-335 Gr. P11	1¼	½	—	520
A-335 Gr. P22	2¼	1	—	570
A-333 Gr. 3	—	—	3½	-100
A-333 Gr. 7	—	—	2¼	-60

Fonte: SILVA TELLES (2001).

O quadro 1 apresenta diversas especificações ASTM para tubos ligados ao cromo e ao molibdênio utilizados em variadas aplicações na indústria de processos como: petroquímicas, papel e celulose, indústria química, etc.

### 3.7.3 Tubos de aço inoxidável

Aços inoxidáveis (stainless steel) precisam conter pelo menos 12% de cromo em solução sólida para obterem a propriedade de não oxidarem quando expostos a atmosfera corrosiva. A adição de cromo acima de 12% nas ligas de ferro confere ao aço a propriedade de formar uma camada de óxido de cromo que é firmemente fixada na superfície do aço e protege o metal base contra o ataque químico da atmosfera.

De acordo com Modenesi, “Os aços inoxidáveis são uma classe de material relativamente recente que surgiu no início do século XX, quase que simultaneamente

em vários países” (2021). Os primeiros trabalhos com aços inoxidáveis surgiram na Inglaterra em 1913, nos Estados Unidos em 1915, na Alemanha em 1912 e na França em 1917, (MODENESI, 2021 pg 4).

De acordo com MODENESI (2021)

Os progressos obtidos desde então nos processos de fabricação e refino de ligas metálicas permitiram o desenvolvimento de aços inoxidáveis com diferentes composições químicas, microestruturas e propriedades químicas e mecânicas. Atualmente, os aços inoxidáveis são comumente divididos em quatro classes principais baseadas na sua microestrutura: austeníticos, ferríticos, martensíticos e duplex (isto é, formados por quantidades similares de austenita e ferrita). Os primeiros são constituídos principalmente por Fe, Cr e Ni, têm uma microestrutura formada majoritariamente por austenita (estrutura cristalina Cúbica de Face Centrada - CFC) e, em geral, apresentam uma melhor combinação de resistência à corrosão, propriedades mecânicas e facilidade para serem soldados e conformados mecanicamente. Dados de 2007 indicam que estes aços (correspondentes às séries AISI 200 e 300) foram responsáveis por 72% da produção mundial de aços inoxidáveis, enquanto os ferríticos e martensíticos (série 400) por 27% e os aços inoxidáveis duplex por 1%(9).

Os aços inoxidáveis são aplicados na indústria de acordo com as suas respectivas propriedades mecânicas e de resistência a corrosão. Além das propriedades mecânicas e químicas outro fator decisivo para a aplicação dos aços inoxidáveis é o custo do material (preço/tonelada). O custo varia em função dos preços dos elementos de liga, que variam de acordo com a sua disponibilidade.

Em geral os aços inoxidáveis duplex tem maior resistência mecânica que os aços inoxidáveis austeníticos, por isso, muitas vezes os duplex são escolhidos por razões econômicas e /ou técnicas.

Para o nosso estudo, serão abordados, principalmente os aços inoxidáveis austeníticos e os aços duplex pela sua importância e pela maior aplicabilidade destes aços.

#### 3.7.4 Aços inoxidáveis austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos, são formados basicamente por Fe-Cr-Ni, apesar de existirem ligas em que há a substituição do níquel foi substituído por manganês e nitrogênio (MODENESI, 2021).

Estes aços, possuem uma estrutura predominantemente austenítica, e não possuem a característica de serem endurecíveis por tratamento térmico.

De acordo com Modeneis (2021), “Estes aços formam o grupo mais numeroso e utilizado dos aços inoxidáveis (representam em torno de 70% da produção mundial destes aços)”.

A composição química básica destes aços pode variar de 6 e 26% de níquel, 16 e 30% de cromo e menos de 0,30% de carbono. com um teor total de elementos de liga de, pelo menos, 26%.

De acordo com PAREDES (2020, p. 50) “Os aços inoxidáveis austeníticos são os mais utilizados, compreendendo de 65 a 70% do total de aço inox produzido nos Estados Unidos”.

Seu uso se deve principalmente por conta da sua alta resistência à corrosão e da facilidade de serem facilmente trabalháveis a frio (conformabilidade). Os aços austeníticos tem grande aplicação na fabricação de tanques atmosféricos e vasos de pressão que trabalham com fluidos corrosivos. Além disso, há uma variedade muito grande de tubos fabricados com estes materiais.

Os aços inoxidáveis austeníticos, possuem propriedades desejáveis em muitas aplicações na engenharia.

### 3.7.5 Aços inoxidáveis duplex

Conforme APERAN (2023), os aços inoxidáveis duplex são materiais que tem por característica principal uma combinação de elevada resistência mecânica e resistência à corrosão. Eles são o produto de uma união adequada entre os aços inoxidáveis austeníticos e os aços inoxidáveis ferríticos, estes aços terminam por combinar as melhores características de ambas as ligas. Além disso, estes aços possuem elevado PREN (*Pitting Resistance Equivalent Number*). De acordo com APERAN (2023) “A adição de nitrogênio aos aços inoxidáveis duplex permite aumentar a tenacidade e a resistência à corrosão da ZTA comparativamente à do metal base na condição soldada”.

Os aços inoxidáveis duplex têm grande utilização nas indústrias químicas, petroquímicas, papel e celulose, entre outros. Isso ocorre por sua elevada resistência mecânica e excelente resistência à corrosão (SENATORE, 2007). Esses aços superam, em relação às propriedades citadas acima, os aços inoxidáveis austeníticos como os AISI 304L e AISI 316L (ASTM A 240/A). Esses dados podem ser analisados com base na tabela 1. Pode-se observar na tabela que o aço S32304 possui limite de escoamento praticamente duas vezes maior que o AISI 304L (ASTM A 240/A).

Tabela 14 – Comparação entre as propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis de microestrutura dúplex com as ligas austeníticas

AISI/UNS	Resistência ao escoamento MPa	Resistência à Tração MPa	Alongamento Mínimo, %	Dureza	Microestrutura
304L / S30403	170	485	40	92 HRBW	Austenita
316L / S31603	170	485	40	95 HRBW	Austenita
S32304	400	600	25	32 HRC	Duplex
S31803	450	620	25	31 HRC	Dupex
S32750	550	795	15	32 HRC	Duplex

AISI: American Iron and Steel Institute

UNS: Unified Numbering System

Fonte: Adaptado pelo autor - SENATORE (2007).

Devido à sua composição química as ligas de aço duplex geram um material com a presença aproximadamente homogênea de duas fases metalúrgicas (austenita e ferrita). Esta homogeneidade (aproximadamente 50% de ferrita e 50% de austenita) é que dá origem ao nome Duplex.

### 3.8 Meios de ligação de tubos

A ligação de tubos pode ser feita de diversas maneiras. De acordo com SILVA TELLES (2001) “Os diversos meios, usados para conectar tubos, servem não só para ligar as varas de tubos entre si, como também para ligar os tubos às válvulas, as conexões e demais acessórios de tubulação...”.

Podemos citar várias formas de ligação entre tubos, porém, conforme SILVA TELLES., 2001, os principais são:

- a) Ligações rosqueadas (screwed joints).
- b) Ligações soldadas (welded joints).
- c) Ligações flangeadas (flanged joints).
- d) Ligações de ponta e bolsa (bell and spigotjoints).
- e) Outros sistemas de ligação: ligações de compressão,
- f) ligações patenteadas etc.

## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

De acordo com os requisitos da Norma Europeia EN ISO 15614 para cobrir todas as faixas de espessura e diâmetros, é necessário fazer um estudo das faixas de espessura, diâmetros e materiais que serão aplicados ao projeto.

Analizando o mapa de juntas elaborado pela empresa de montagem eletromecânica, foi possível identificar as seguintes faixas de diâmetros, espessuras e tipos de materiais a serem cobertos.

Tipos de materiais aplicados:

Tabela 15 – Tipos de combinações de materiais aplicados

TIPO DE AÇO		GRUPO	COMBINAÇÕES
<b>Aço Austenítico</b>	1.4307 (304L)	8.1	1.4307 x 1.4307 1.4307 x 1.4432 1.4307 x P235GH
	1.4404 (316L)	8.1	1.4404 x 1.4404 1.4404 x 1.4307
<b>Duplex</b>	1.4462 (2205)	10.1	1.4462 x 1.4462
<b>Superaustenítico</b>	1.4539 (904L)	8.2	1.4539 x 1.4539
<b>Aço Carbono e baixa liga</b>	16Mo3	1.2	16Mo3 X P235GH
	<b>P235GH</b>	<b>1.1</b>	P235GH X P235GH

Fonte: O autor (2022).

De acordo com a norma EN ISO 15614 o range de qualificação de materiais é feito segundo a tabela 4. Os materiais que possuem grupos e subgrupos, normalmente quando se utiliza subgrupos mais altos também se qualifica os subgrupos inferiores, por exemplo subgrupo 1.2 qualifica subgrupo 1.2 e subgrupo 1.1.

### 4.1 Requisitos da norma em 15614

Será feita uma análise da quantidade mínima de EPS/RQPS para a Norma EN ISO 15614 assim como para o ASME IX considerando os mesmos parâmetros. Vamos iniciar com a norma EN 15614.

Tabela 16 – Tipos de combinações de materiais aplicados

Peça de teste Material A	Peça de teste Material B										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	1-1 2-1 2-2	1-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2-1									
		2-2									
3	1-1 2-1 2-2 3-1 3-2	1-1	1-1	—	—	—	—	—	—	—	—
		2-1	2-1								
		2-2	2-2								
		3-1	3-1								
		3-2	3-2								
4	4-1 4-2 4-3	4-1	4-1	4-1	—	—	—	—	—	—	—
		4-2	4-2	4-2							
		4-3	4-3	4-3							
		4-4	4-4	4-4							

<sup>a</sup> Os materiais das peças de teste nos grupos 1, 2, 3 e 11 qualificam os aços com limite de escoamento mínimo especificado igual ou inferior (independentemente da espessura do material).

<sup>b</sup> Os materiais da peça de teste nos grupos 4, 5, 6, 8 e 9 qualificam os aços no mesmo subgrupo e qualquer subgrupo inferior dentro do mesmo grupo.

<sup>c</sup> Os materiais das peças de teste dos grupos 7 e 10 qualificam os aços do mesmo subgrupo.

Fonte: EN ISO 13480-2 (2017), adaptado.

#### 4.1.1 Espessuras e diâmetros para aços carbono

As espessuras e diâmetros qualificados pela Norma EN ISO 15614 tem particularidades semelhantes ao ASME IX, porém na norma ASME IX não há limitação de diâmetros. Neste sentido a norma EN ISO 15614 é mais rigorosa e limita mais as faixas de qualificação, portanto uma análise mais detalhada se faz necessário para reduzir ao máximo a quantidade de RQPS/EPs qualificadas.

De acordo com o welding log da montadora, os materiais de aço carbono e média liga, indicados como P235GH que faz parte do grupo 1.1, contém uma quantidade total aproximada de 5400 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2mm e 12,5mm, e as faixas de diâmetro variam de 21,3mm a 813mm (7/8 polegada a 32 polegadas).

A tabela 5 define as faixas de qualificação das espessuras. De acordo com esta tabela, é necessário no mínimo duas RQPS/EPs para cobrir todas as faixas de espessuras. Conforme segue:

- a) Uma EPS utilizando um diâmetro mínimo de  $\varnothing 33,7\text{mm}$  e espessura de 2,6mm. Dessa forma, a qualificação em relação a espessura será de 1,45mm a 5,8mm e diâmetro  $\geq 16,85\text{mm}$ .
- b) Uma EPS utilizando uma peça de teste com diâmetro de  $\varnothing 114,3$  e espessura de 8mm. Dessa forma, esta EPS irá cobrir a faixa de diâmetro  $\geq 57,15$  e espessura de 3,0mm a 16mm.

Tabela 17 – Faixas de qualificação de espessuras

Dimensões em milímetros

Espessura da peça de teste $t$	Faixa de Qualificação			Espessura do metal de solda depositado para cada processo $s$
	Nível 1	Espessura do material base		
		Nível 2		
		Passe único	Multi-passes	
$t \leq 3$	0,5 $t$ to 2 $t$			max. 2 $s$
$3 < t \leq 12$	1,5 to 2 $t$	0,5 $t$ (3 min) to 1,3 $t$	3 to 2 $t^a$	max. 2 $s^a$
$12 < t \leq 20$	5 to 2 $t$	0,5 $t$ to 1,1 $t$	0,5 $t$ to 2 $t$	max. 2 $s$
$20 < t \leq 40$	5 to 2 $t$	0,5 $t$ to 1,1 $t$	0,5 $t$ to 2 $t$	max. 2 $s$ quando $s < 20$ max. 2 $t$ quando $s \geq 20$
$40 < t \leq 100$	5 to 200	—	0,5 $t$ to 2 $t$	max. 2 $s$ quando $s < 20$ max. 200 quando $s \geq 20$
$100 < t \leq 150$	5 to 200	—	50 to 2 $t$	max. 2 $s$ quando $s < 20$ max. 300 quando $s \geq 20$
$t > 150$	5 to 1,33 $t$	—	50 to 2 $t$	max. 2 $s$ quando $s < 20$ max. 1,33 $t$ quando $s \geq 20$

<sup>a</sup>Para o nível 2: quando os requisitos de impacto são especificados, mas os testes de impacto não foram realizados, a espessura máxima de qualificação é limitada a 12 mm.

Fonte: EN ISO 13480-2 (2017), adaptado.

As faixas de diâmetro para a qualificação de procedimentos de soldagem são definidas na tabela 6, que é um recorte da norma EN ISO 15614.

Tabela 18 – Faixas de qualificação de diâmetros

Dimensões em milímetros

Diâmetro da peça de teste	Faixa de qualificação
$D$	$\geq 0,5 D$

NOTA 1 Para seção oca diferente da circular (por exemplo, elíptica),  $D$  é a dimensão do lado menor.

NOTA 2  $D$  é o diâmetro externo do tubo de uma solda de topo ou o diâmetro externo do tubo de derivação para uma conexão de derivação (consulte a Figura 4, diâmetro externo  $D_2$ ). – OBS Norma EN ISO 15614-1

Fonte: EN ISO 15614-1: 2017 + Amd 1:2019, adaptado.

Para a qualificação das soldas para aço carbono (P235GH) e média liga (16Mo3), será necessário utilizar uma peça de teste de 16Mo3 conforme as espessuras e diâmetros definidos nas alíneas “a” e “b” citadas acima. Desta forma, será necessário qualificar duas EPS/RQPS.

#### 4.1.2 Espessuras e diâmetros para aços 16Mo3

De acordo com o welding log da montadora, os materiais de aço carbono e média liga, indicados como 16Mo3 que faz parte do grupo 1.2, contém uma quantidade total aproximada de 100 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2,6mm e 16mm, e as faixas de diâmetro variam de 33,7mm a 323,9mm (1 5/16 polegada a 13 polegadas).

A tabela 5 define as faixas de qualificação das espessuras. De acordo com esta tabela, é necessário no mínimo duas EPS/RQPS para cobrir todas as faixas de espessuras. Conforme segue:

- a) Uma EPS utilizando um diâmetro mínimo de Ø60,3mm e espessura de 4,5mm. Dessa forma, a qualificação em relação a espessura será de 2,25 mm a 9,0 mm e diâmetro  $\geq 33,7$ mm
- b) Uma EPS utilizando uma peça de teste com diâmetro de Ø323,9 e espessura de 16mm. Dessa forma, esta EPS irá cobrir a faixa de diâmetro  $\geq 161,95$  e espessura de 8,0mm a 32mm.

#### 4.1.3 Espessuras e diâmetros para aços inox 1.4307

De acordo com o welding log da montadora, os materiais de aço inox 1.4307 aço austenítico 304L que faz parte do grupo 8.1, contém uma quantidade total aproximada de 12600 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2mm e 12,5mm, e as faixas de diâmetro variam de 17,2mm a 1143mm (11/16 polegada a 45 polegadas).

De acordo com a tabela 5, é necessário no mínimo duas EPS/RQPS para cobrir todas as faixas de espessuras. Conforme segue:

- a) Uma EPS utilizando um diâmetro mínimo de Ø33,7mm e espessura de 2,0mm. Dessa forma, a qualificação em relação a espessura será de 1,0mm a 4,0mm e diâmetro  $\geq 16,85$ mm



- b) Uma EPS utilizando uma peça de teste com diâmetro de  $\text{Ø}168,3$  e espessura de 6,3mm. Dessa forma, esta EPS irá cobrir a faixa de diâmetro  $\geq 84,15$  e espessura de 3,15mm a 12,6mm.

#### 4.1.4 Espessuras e diâmetros para aços inox 1.4432 e 1.4404

De acordo com o *welding log* da montadora, os materiais de aço inox 1.4404 e 1.4432 aço austenítico 316L que faz parte do grupo 8.1, contém uma quantidade total aproximada de 869 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2mm e 3,2mm, e as faixas de diâmetro variam de 10,0mm a 406,4mm (3/8 polegada a 16 polegadas).

De acordo com a tabela 5, é necessário no mínimo uma EPS/RQPS para cobrir todas as faixas de espessuras. Conforme segue:

- a) Uma EPS utilizando um diâmetro mínimo de  $\text{Ø}17,2\text{mm}$  e espessura de 2,6mm. Dessa forma, a qualificação em relação a espessura será de 1,3mm a 5,2mm e diâmetro  $\geq 8,6\text{mm}$

#### 4.1.5 Espessuras e diâmetros para aços inox 1.4462 (duplex)

De acordo com o *welding log* da montadora, os materiais de aço inox 1.4462 e duplex que faz parte do grupo 10.1, contém uma quantidade total aproximada de 500 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2mm e 2,6mm, e as faixas de diâmetro variam de 33,7mm a 323,9mm (1 5/16" polegada a 13 polegadas).

De acordo com a tabela 5, é necessário no mínimo uma EPS/RQPS para cobrir todas as faixas de espessuras. Conforme segue:

- a) Uma EPS utilizando um diâmetro mínimo de  $\text{Ø}60,3\text{mm}$  e espessura de 2,0mm. Dessa forma, a qualificação em relação a espessura será de 1,0mm a 4,0mm e diâmetro  $\geq 30,15\text{mm}$

#### 4.1.6 Posição de teste

Diferentemente da norma ASME IX, a norma DIN EN ISO 15614 traz consigo limitações incluindo a posição de teste. Para a qualificação de procedimentos na norma ASME IX não há tal restrição, nem mesmo quando há requisito de impacto.

Na norma EN ISO 15614, para evitar a qualificação de múltiplas EPS devido a posição de teste, se indica a qualificação na posição H-L045<sup>4</sup>. Esta posição de soldagem qualifica todas as posições, exceto: PG (Chapa na posição 5G - Vertical descendente), PJ (Tubo na posição 5G - Vertical descendente) e J-L045 (Tubo inclinado a 45° - soldagem na Vertical descendente).

## 4.2 Requisitos da norma ASME IX

Para o ASME IX serão considerados os mesmos itens (Material base, espessuras). Como o ASME IX não limita a qualificação de procedimentos pelo diâmetro utilizado, não iremos considerá-lo para o estudo.

### 4.2.1 Espessuras para aços carbono

De acordo com o *welding log* da montadora, os materiais de aço carbono e média liga, indicados como P235GH é enquadrado no ASME IX como “P Number 1). Há uma quantidade total de 5400 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2mm e 12,5mm, e as faixas de diâmetro variam de 21,3mm a 813mm (7/8 polegada a 32 polegadas). Como diâmetro não é variável essencial no ASME, precisamos apenas fazer uma análise de quantas EPS seriam necessárias para cobrir a faixa de espessura.

Conforme a tabela QW-451.1 do ASME IX, se soldarmos uma peça de teste de 10 milímetros poderemos soldar de 1,5mm a 20mm. Portanto apenas uma EPS seria necessária.

### 4.2.2 Espessuras para aços 16Mo3

De acordo com o *welding log* da montadora, os materiais de aço carbono e média liga contém uma quantidade total aproximada de 100 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2,6mm e 16mm. Levando em consideração o mesmo estudo do aço carbono, precisamos de apenas uma EPS para cobrir toda a faixa necessária.

---

<sup>4</sup> A posição de soldagem em tubos com eixos inclinados, com direção de soldagem “soldagem para cima” (PH) e ângulo de inclinação de 45°. DIN EN ISO 6947 (2020)

#### 4.2.3 Espessuras para aços inox 1.4307

De acordo com o *welding log* da montadora, os materiais de aço inox 1.4307 aço austenítico 304L contém uma quantidade total aproximada de 12600 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2mm e 12,5mm. Portanto, apenas uma EPS para 1.4307 é necessária.

#### 4.2.4 Espessuras e diâmetros para aços inox 1.4432 e 1.4404

De acordo com o *welding log* da montadora, os materiais de aço inox 1.4404 e 1.4432 aço austenítico 316L contém uma quantidade total aproximada de 869 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2mm e 3,2mm. Para os materiais em 316 (1.4432 e 1.4404) apenas uma EPS com espessura do metal base de 10mm é suficiente para cobrir toda a faixa necessária

#### 4.2.5 Espessuras para aços inox 1.4462 (duplex)

De acordo com o *welding log* da montadora, os materiais de aço inox 1.4462 contém uma quantidade total aproximada de 500 juntas de topo para a Caldeira de recuperação. As faixas de espessura variam entre 2mm e 2,6mm. Portanto apenas uma EPS é necessária.

### 4.3 Comparação EN 15614 com ASME IX

Levando-se em consideração apenas as faixas de espessura e diâmetros a norma EN 15614 requer no mínimo 8 EPS/RQPS para cobrir todas as faixas estabelecidas para o projeto da Planta.

Por outro lado, o ASME IX é um pouco mais econômico e seriam necessárias apenas 5 EPS/RQPS para executar a mesma obra, uma diferença de quase 40% na quantidade de procedimentos necessários.

De modo a apresentar uma comparação entre as principais variáveis essenciais entre o ASME IX e a Norma EN 15614-1, foi elaborada a tabela 18, que apresenta de forma ilustrativa a comparação de variáveis para o processo TIG (GTAW).

Tabela 19 – Tabela comparativa entre ASME IX e EN 15614-1

Baseado na Tabela QW-256									
Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Gas Tungsten Arc									
GTAW - ASME IX					141 - (TIG) ISO 15614-1				
<b>QW-404 Filler Metals</b>					<b>8.4.4 Filler material - Level 2</b>				
.3	φ	Size		N		8.4.5 Filler material size		S	
.4	φ	F-Number	E					E	
.5	φ	A-Number	E					E	
.12	φ	Classification		S				E	
.14	±	Filler	E					E	
.22	±	Consum. insert		N					
.23	φ	Filler metal product form	E					E	
.30	φ	t (weld metal thickness)	E					E	
.33	φ	Classification		N		Impact test required (111, 114, 12, 136 and 132)			S
.50	±	Flux		N				E	
<b>QW-405 Positions</b>					<b>8.4.2 Welding positions</b>				
.1	+	Position		N				E	
.3	φ	↑↓ Vertical welding		N				E	
<b>QW-406 Preheat</b>					<b>8.4 Preheat temperature</b>				
.1		Decrease > 100°F (55°C)	E			.8 A decrease of more than 50 °C		E	
.3		Increase > 100°F (55°C) (IP)		S		.9 Interpass temperature increase > 50 °C		E	
	-	Post-heating				.10 - Post-heating for hydrogen release (retirada)		E	
<b>QW-407 PWHT</b>					<b>8.4.11 Heat-treatment</b>				
.1	φ	φ PWHT	E					E	
.2	φ	φ PWHT (T & T range)		S				E	
.4	T	T Limits	E					E	
<b>QW-408 Gas</b>					<b>8.5.3 Gas-shielded arc welding</b>				
.1	±	Trail or φ comp.		N					
.2	φ	Single, mixture, or %	E			8.5.3.1 Shielding gases		E	
.3	φ	Flow rate		N					
.5	±	± or φ Backing flow		N					
.9	-	- Backing or φ comp.	E			8.5.6 Backing gas		E	
.10	φ	Shielding or trailing	E						
<b>QW-409 Electrical Characteristics</b>					<b>8.4 Common to all welding procedures</b>				
.1	>	Heat input		S		.7 Impact requir. apply, ≤25 % greater than used			S
.3	±	Pulsing I		N		.6 Pulsed current		E	
.4	φ	Current or polarity		S		.6 Type of current		E	
.8	φ	I & E range		N					S
.12	φ	Tungsten electrode		N					N
<b>QW-410 Technique</b>									
.1	φ	String/weave		N					
.3	φ	Orifice, cup, or nozzle size		N					
.5	φ	Method cleaning		N					
.6	φ	Method back gouge		N					
.7	φ	Oscillation		N					
.9	φ	Multi to single pass/side		S	N				
.10	φ	Single to multi electrodes		S	N				
.11	φ	Closed to out chamber	E						
.15	φ	Electrode spacing		N					
.25	φ	Manual or automatic		N					
.26	±	Peening		N					
.64		Use of thermal processes	E						

\* A Norma EN 15614-1 trata o agrupamento de materiais por Grupo e não por P Number.

Fonte: ASME IX 2021, adaptado.

Outro comparativo realizado foi o quantitativo de EPS/RQPS necessários para a mesma obra utilizando cada uma das normas de projeto.

Tabela 20 – Quantidade de EPS's necessárias: ASME IX e EN 15614-1

TIPO DE AÇO		GRUPO / Subgrupo	COMBINAÇÕES	N° de EPS (mínimo)	
				EN15614	ASME IX
Aço Carbono	16Mo3	1.2 x 1.2 1.2 x 1.1	16Mo3x 16Mo3 16Mo3 x P235GH	2	1
	P235GH	1.1	P235GH x 235GH	2	1
Aços Inox	1.4307 (304L)	8.1	1.4307 x 1.4307	2	1
	1.4432 e 1.4404 (316L)	8.1	1.4432 x 1.4432 1.4404 x 1.4404	1	1
Duplex	1.4462 (2205)	10.1	1.4462 x 1.4462	1	1
Total				8	5

Fonte: Próprio autor.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo realizado para comparar os requisitos das normas de projeto DIN EN ISO 13445 e DIN EN ISO 15614 das normas Europeias com as normas ASME B31.3 e ASME IX buscou apresentar de forma detalhada os requisitos para a qualificação de procedimentos de soldagem para ambas as normas.

Notou-se que são considerados diferentes requisitos, assim como variáveis essenciais para cada norma de qualificação de procedimentos. Procurou-se mostrar um passo-a-passo para que o leitor possa ter uma ideia geral de como funcionam as qualificações de procedimentos em diferentes normas de projeto.

Não levou-se em consideração combinações de materiais de base que também se torna um requisito e limitações adicionais, bem como de materiais não listados pelas normas de qualificação de procedimentos.

### **5.1 Recomendações para trabalhos futuros**

Para trabalhos futuros é possível fazer uma análise de quantidade de EPS/RQPS considerando-se tratamento térmico, faixas de espessuras maiores, combinações de materiais diferentes (aço carbono com aço inox), além de outras variações possíveis quando se tem diversos materiais e faixas de espessuras.

## REFERÊNCIAS

APERAN. **Duplex UNS 32304: Aço Inoxidável Duplex**. Belo Horizonte, disponível em: <https://brasil.aperam.com/wp-content/uploads/2015/11/Duplex-UNS-32304-A%C3%A7o-Inoxid%C3%A1vel-Duplex.pdf>> acesso em: 21 fev. 2023.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B31.3-2020 - Process Piping**. Nova York, 2020, 574p.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **SECTION IX - Welding, Brazing, and Fusing Qualifications**. Nova York, 2021, 401p.

DIN EN ISO 1708-1. **Welding - Basic welded joint details in steel**. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2010, 75 p.

DIN EN 13480-1. **Metallic industrial piping – Part 1: General**. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2017, 20 p.

DIN EN 13480-2. **Metallic industrial piping – Part 2: Materials**. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2017, 82 p.

DIN EN 13480-3. **Metallic industrial piping – Part 3: Design and calculation**. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2017, 367 p.

DIN EN 13480-4. **Metallic industrial piping – Part 4: Fabrication and installation**. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2017, 52 p.

DIN EN ISO 15614-1:2017 + Amd 1:2019. **Welding procedure test – Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys**. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2019, 52 p.

DIN EN ISO 6947. **Welding and allied processes – Welding positions**. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2020, 26 p.

DIN EN ISO 9692-1. **Welding and allied processes – Types of joint preparation**. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2013, 19 p.

DIN EN ISO 2553. Welding — **Welding and allied processes – Symbolic representation on drawings – Welded joints**. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2019, 65 p.

ISO 5817. Welding — **Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded)** — Quality levels for imperfections. Geneva: International Organization Standard (ISO), 2014, 36 p.

LLOYD'S REGISTER ENERGY. **Pressure Equipment Directive Category and Module Decision Flowchart**. London: Lloyds Register, 2015. Disponível em: <<https://www.lrqa.com/en/pressure-equipment-directive/ped-flowchart-poster/>>, acesso em: 11 dez. 2022.

MIKKANENA, P., JOKINIEMIB, J.K., KAUPPINENA, E.I., VAKKILAINENC, E.K. Coarse ash particle characteristics in a pulp and paper industry chemical recovery boiler. *SciencyDirect Journals & Books, Helsinki*, v. 80, n. 7, p. 987-999, Mai 2001. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez27.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0016236100001952?via%3Dihub#aep-bibliography-id30>. Acesso em: 21 Abr. 2022.

MODENESI, P. J. **Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis**. Belo Horizonte: UFMG, 2021, 93 p.

PAREDES. R. S. C. **Aços Inoxidáveis Metalurgia e Soldabilidade**. Curitiba: UFPR, 2020, 136 p.

SENATORE, M. FINZETTO, L. PEREA, E. **Ligas Inoxidáveis: Estudo comparativo entre os aços inoxidáveis dúplex e os inoxidáveis AISI304L/316L**. *Revista Escola de Minas*, vol. 60, núm. 1, enero-marzo, 2007, pp. 175-181. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/564/56416461027.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2019.

SILVA TELLES, P. C. **Tubulações Industriais. Materiais, Projeto, Montagem**. 10ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2001, 260 p.

THE BABCOCK & WILCOX COMPANY. **Steam/its generation and use**. 41<sup>ST</sup> edition. Barberton: The Babcock & Wilcox Company, 2005.

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **Directive 97/23/EC – Pressure Equipment**. Europe: of The European Parliament And of The Council, 2003, 68 p. Disponível em <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1997L0023:20031120:en:PDF>>. Acesso em: 26 feb. 2023.



THE NATIONAL BOARD OF BOILERS AND PRESSURE VESSELS INSPECTORS.  
Disponível em:  
<https://www.nationalboard.org/index.aspx?pageID=164&ID=231#:~:text=Combustion%20of%20the%20black%20liquor%20reduces%20the%20sulfur%20compounds%20to,travel%20to%20the%20furnace%20floor>. Acesso em: 21 Abr. 2022.

THE WASHINGTON TIMES (1905). **Boiler Bursts; Factory Falls; Fifty Victims.**  
Disponível em: < <https://chroniclingamerica.loc.gov/lccn/sn84026749/1905-03-20/ed-1/seq-1/>>. Acesso em: 26 Jan. 2023.