



**José Carlos Furtado
Martinho**

**Garantia da Qualidade da Construção Soldada de
Caldeiras Industriais**



**José Carlos Furtado
Martinho**

**Garantia da Qualidade da Construção Soldada de
Caldeiras Industriais**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor António Manuel de Bastos Pereira, Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro.

Este trabalho teve o apoio financeiro dos projetos UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 – FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia e CENTRO-01- 0145-FEDER-022083 – Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), no âmbito do Acordo de Parceria Portugal 2020, através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

O júri

Presidente

Prof.^a Doutora Gabriela Tamara Vincze
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor Francisco José Gomes da Silva
Professor Coordenador do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Prof. Doutor António Manuel de Bastos Pereira
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao professor António Bastos. Pela orientação e apoio incondicional que sempre, e sem reservas, me deu. Em todas as vicissitudes que foram surgindo, sempre encontrei nele uma solução, um conselho, e motivação adicional para nunca atirar a toalha ao chão. Não é de agora, que lhe reconheço um conjunto de características que só um profissional de excelência, e acima de tudo, uma excelente pessoa pode ter.

A todos os meus amigos, e colegas que de alguma forma se relacionaram comigo. Tenho certeza de que aprendi algo com todos eles, e que também eu tentei dar o meu contributo da melhor forma, em todos os degraus da nossa caminhada. Hoje, posso dizer que com a maioria dos amigos continuo a aprender, pois continuamos a relacionar-nos. Esta constatação, comprova que devemos continuar a estar presentes na vida uns dos outros, e que o esforço que tenhamos que fazer para isso acontecer certamente valerá a pena.

Ao Bruno. Tenho por ele um profundo sentimento de amizade, companheirismo, fraternidade e admiração. É uma pessoa com uma bondade, espírito de partilha e capacidade de trabalho totalmente inacreditável. Um profissional exímio naquilo que faz, e com um conhecimento de tal forma abrangente que é difícil acompanhar. Todos os dias contribui para eu me tornar uma pessoa e um profissional melhor. Espero poder estar sempre à altura.

À Catarina. É muito difícil encontrar palavras para agradecer à Catarina. Os meus sucessos e etapas concluídas, são também fruto de todo o suporte que ela me dá, e do apoio incondicional que nunca colocou em causa, ou deixou de me dar. Admiro a sua generosidade e carinho que consegue imprimir em tudo a que se dedica. Por tudo que representa para mim, pelo que já vivemos, e pelo que continuamos a construir para o futuro, obrigado.

Ao meu irmão Pedro Martinho. Sei que ele gosta de ser chamado também pelo sobrenome, tal como eu. É indispensável na minha vida. Motiva-me a melhorar, e a ser o exemplo que ele próprio procura. É um orgulho para mim poder seguir de perto o seu percurso. Pelo seu carácter, espírito e aptidão prática já demonstrada, certamente se tornará um bom engenheiro. Agradeço a sua lealdade, ajuda e companheirismo, muitas vezes silencioso, mas sempre presente.

Aos meus pais José e Irene.

Por muitos anos que eu possa viver, sinto que nunca serei capaz de expressar suficientemente o meu amor e a minha gratidão para com eles. Desde muito pequeno, sempre tive a perfeita noção de todo o sacrifício que ambos fizeram para poderem dar-me o melhor. Para me dar aquilo que infelizmente nunca puderam, ou nunca tiveram oportunidade para ter, pois estavam mais preocupados com os filhos. Tudo farei para sempre honrar e respeitar tudo o que fizeram, e ainda fazem por mim.

palavras-chave

Equipamentos sob Pressão, Caldeiras, Soldadura, Requisitos, Especificação, Procedimentos, Soldador, Marcação CE, Qualidade, Controlo

resumo

A garantia da qualidade é um requisito imprescindível e incontornável na fabricação metalomecânica. A obrigatoriedade de cumprimento deste requisito por parte dos fabricantes, depende do enquadramento e âmbito aplicável ao produto. Desta forma, o fabricante deve não só conhecer e respeitar a legislação e regulamentação vigente, como também dominar a extensa normalização aplicável aos produtos que fabrica. Em particular, fabricantes cujo produto seja baseado em construção soldada e sujeito à marcação CE, têm por obrigação conhecer e implementar todas as disposições necessárias à conformidade do produto, desde a sua conceção até à sua disponibilização no mercado. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é descrever, especificar e resolver as diversas etapas que permitem a um fabricante de caldeiras de vapor garantir a qualidade na construção soldada do seu produto, com tudo o que isso implique. Entende-se que, atualmente, a problemática do fabricante não é tanto a quantidade e amplitude dos meios físicos de fabricação, mas sim o domínio da técnica e atualidade de conhecimento específico ao serviço da conformidade de produto. É proposta uma metodologia de abordagem à construção, assumindo o papel do fabricante, desde o enquadramento do próprio produto, até à inspeção e ensaios finais. Pretende-se detalhar e documentar tecnicamente, de forma completa cada uma das etapas, em conformidade com a legislação e códigos de construção aplicáveis à caldeira em estudo.

Keywords

Under Pressure Equipment, Boiler, Welding, Requirements, Specification, Procedure, Welder, CE Marking, Quality, Requirement, Control

Abstract

Quality assurance is an essential and indispensable requirement in metalworking. The obligation of manufacturers to comply with this requirement depends on the framework and scope applicable to the product. Thus, the manufacturer must not only know and respect the current legislation and regulations, but also the extensive standardization applicable to the products. Specially, manufacturers whose product is based on welded construction and subject to CE marking, have the obligation to know and implement all the necessary provisions for the conformity of the product from its conception to the availability of the product on the market. In this case, the objective of this work is to describe, specify and solve the various steps that allow a manufacturer of steam boilers to guarantee the quality in the welded construction of their products, with all that this implies. Actually, the manufacturer's problem is not so much the quantity and capacity of the physical resources of manufacture, but rather the mastery of the technique and actuality of specific knowledge required in order to ensure the product compliance. A methodology to approach construction is proposed, assuming the manufacturer role, from the framing of the product, to inspection and final testing. It is intended to detail and technically fully document each step, in accordance with the legislation and building codes applicable to the boiler under study.

Índice

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Organização do documento.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3	PROJETO DE DETALHE – Especificação para Construção	9
3.1	Abordagem ao projeto, interpretação e verificações prévias.....	9
3.2	Caracterização da Caldeira de Vapor.....	10
3.3	Materiais e Critérios de Fabricação e Inspeção.....	13
4	RESULTADOS.....	15
4.1	Seleção do módulo de avaliação da conformidade.....	15
4.2	Seleção de processos de soldadura e materiais de adição.....	16
4.3	Dimensionamento das juntas soldadas.....	19
4.4	Determinação dos parâmetros de soldabilidade.....	29
4.5	Determinação dos critérios de fabrico.....	30
4.6	Determinação dos requisitos de inspeção.....	32
4.7	Especificação de procedimentos de soldadura preliminares.....	35
4.8	Qualificação de procedimentos de soldadura.....	39
4.9	Especificações de procedimentos de soldadura qualificadas.....	53
4.10	Qualificação de soldadores.....	55
4.11	Testemunhos de fabrico.....	56
4.12	Plano de inspeção e ensaios.....	58
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	63
	Referências bibliográficas	65
	Anexos	67
	Anexo 1.....	68
	Anexo 2.....	68
	Anexo 3.....	68
	Anexo 4.....	68
	Anexo 5.....	68

Lista de Figuras

Figura 1 – Caldeira da Exxon Mobil em Singapura antes da explosão (a) depois da explosão (b) [5]	5
Figura 2 - Caldeira de Vapor - Vista em Corte	10
Figura 3 - Caldeira de Vapor - Vista de frente a) e vista de trás b).....	11
Figura 4 - Caldeira de Vapor - Vista de cima	12
Figura 5 - Caldeira de Vapor - Vista em Corte (referenciada)	18
Figura 6 - Caldeira de Vapor - Vista de frente a) e vista de trás b) (Referenciadas).....	19
Figura 7 - Caldeira de Vapor - Vista de cima (Referenciada).....	19
Figura 8 - Condições para soldadura de aços com recurso ao cálculo do carbono equivalente [16]	29
Figura 9 - Medidor padrão para medição de irregularidades de superfície [14]	30
Figura 10 - Método de medição do peaking à esquerda do cordão a) [14] e à direita do cordão b) [14] .	30
Figura 11 - Método de medição do peaking negativo [14].....	31
Figura 12 - Representação dos desalinhamentos possíveis de ocorrer [14].....	31

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Lista de Material do Corpo	11
Tabela 2 - Lista de Tubagem	11
Tabela 3 - Características do Equipamento.....	13
Tabela 4 - Determinação da Classe de Risco [9]	15
Tabela 5 - Composição química especificada (valores máximos, em % de massa)	16
Tabela 6 - Propriedades mecânicas especificadas	16
Tabela 7 - Composição química especificada (valores máximos, em % de massa)	17
Tabela 8 - Propriedades mecânicas especificadas	17
Tabela 9 - Composição química especificada (valores máximos, em % de massa)	17
Tabela 10 - Propriedades mecânicas especificadas	17
Tabela 11 - Método de atribuição de referências às soldaduras	18
Tabela 12 - Critérios para dimensionamento de juntas [14]	20
Tabela 13 – Critérios gerais para dimensionamento de juntas em função do processo [15]	23
Tabela 14 - Especificação e dimensionamento de todas as juntas da caldeira de vapor	24
Tabela 15 - Composição química especificada do material base.....	29
Tabela 16 - Desalinhamento máximo permitido para soldaduras longitudinais [14]	31
Tabela 17 - Desalinhamentos máximos permitidos quanto aos planos da chapa [14]	32
Tabela 18 - Extensão de ensaios não destrutivos [17].....	33
Tabela 19 - Quantidade e localização das chapas de testemunho [17]	34
Tabela 20 - Ensaios destrutivos aplicáveis às chapas de testemunho [17]	34
Tabela 21 - Níveis de aceitação e limites para imperfeições [17]	34
Tabela 22 - Levantamento de necessidades de qualificação.....	36
Tabela 23 - Especificação das provas de procedimentos de soldadura	36
Tabela 24 - Domínio de validade previsível para qualificação de procedimentos de soldadura	39
Tabela 25 - Definição dos ensaios a realizar – Corpos de Prova 1 a 6.....	42
Tabela 26 - Resultados dos ensaios não destrutivos	42
Tabela 27 - Resultados dos Ensaios de Tração pEPS 02	43
Tabela 28 - Resultados dos Ensaios de Tração pEPS 06	44
Tabela 29 - Resultados dos Ensaios de Tração pEPS 08	44
Tabela 30 - Resultados dos ensaios de Dobragem pEPS 02.....	44
Tabela 31 - Resultados dos ensaios de Dobragem pEPS 06.....	45
Tabela 32 - Resultados dos ensaios de Dobragem pEPS 08.....	45
Tabela 33 - Resultados dos ensaios de impacto pEPS 02.....	45
Tabela 34 - Resultados dos ensaios de impacto pEPS 06.....	46
Tabela 35 - Resultados dos ensaios de impacto pEPS 08.....	46
Tabela 36 - Resultados dos ensaios de dureza pEPS 01 - Secção Transversal 1.....	47
Tabela 37 - Resultados dos ensaios de dureza pEPS 07 - Secção Transversal 1.....	48
Tabela 38 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 01 - Secção Transversal 2	49
Tabela 39 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 03 – Secção Transversal 1	49
Tabela 40 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 03 – Secção Transversal 2	50
Tabela 41 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 04 – Secção Transversal 1	50
Tabela 42 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 04 – Secção Transversal 2	51
Tabela 43 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 05 – Secção Transversal 1	51
Tabela 44 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 05 – Secção Transversal 2	52
Tabela 45 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 06 – Secção Transversal 1	52
Tabela 46 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 07 – Secção Transversal 2	53
Tabela 47 - Domínio de validade para qualificação de soldadores de acordo com a ISO 9606.....	55
Tabela 48 - Resultados dos ensaios não destrutivos à chapa de testemunho	57
Tabela 49 – Resultado do ensaio macrográfico à chapa de testemunho	57
Tabela 50 - Resultados do ensaio de impacto à chapa de testemunho	57
Tabela 51 - Plano de Inspeção e Ensaios para cumprimento dos requisitos de construção da caldeira de vapor.....	59

Lista de Abreviatuas

ANB	<i>Authorized National Body</i>
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
ATB	<i>Authorized Training Body</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
BPVC	<i>Boiler and Pressure Vessel Code</i>
BW	<i>Junta Topo-a-Topo</i>
CE	<i>Carbono Equivalente</i>
CEN	<i>European Committee for Standardization</i>
CENELEC	<i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i>
CODAP	<i>Code de Construction des Appareils à Pression non soumis à l'acion de la flamme</i>
CPF	<i>Controlo de Produção em Fábrica</i>
DL	<i>Decreto-Lei</i>
EN	<i>European Standard</i>
EPSp	<i>Especificação de Procedimento de Soldadura Preliminar</i>
ESP	<i>Equipamento Sob Pressão</i>
EWE	<i>European Welding Engineer</i>
EWf	<i>European Welding Federation</i>
F ₂	<i>Fator de Forma para Escoamento de Calor Bidimensional</i>
F ₃	<i>Fator de Forma para Escoamento de Calor Tridimensional</i>
FEA	<i>Finite Element Analysis</i>
FW	<i>Junta de Ângulo</i>
IIW	<i>International Institute of Welding</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITP	<i>Inspection and Test Plan</i>
IWE	<i>International Welding Engineer</i>
MA	<i>Metal de Adição</i>
MB	<i>Metal de Base</i>
MT	<i>Magnetic Particle Testing</i>
NB	<i>Notified Body</i>
NFL	<i>New Legislative Framework</i>
N.I.E.	<i>Nível Inferior Esquerdo</i>
N.I.D.	<i>Nível Inferior Direito</i>
N.M.B.	<i>Nível Muito Baixo</i>
NQL	<i>Novo Quadro Legislativo</i>
N.S.E.	<i>Nível Superior Esquerdo</i>
N.S.D.	<i>Nível Superior Direito</i>
ON	<i>Organismo Notificado</i>
PED	<i>Pressure Equipment Directive</i>
PIE	<i>Plano de Inspeção e Ensaio</i>
PS	<i>Pressão Máxima Admissível</i>
PT	<i>Penetrant Testing</i>
P _t	<i>Pressão de Ensaio Hidrostático</i>

pWPS	<i>Preliminary Welding Procedure Specification</i>
Q	<i>Entrega Térmica</i>
R _c H	<i>Tensão de cedência</i>
R _m	<i>Tensão de Ruptura</i>
R _{p0,2}	<i>Tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2% de deformação</i>
RQPS	<i>Registo de Qualificação de Procedimento de Soldadura</i>
RSP	<i>Recipiente Sob Pressão</i>
RT	<i>Radiographic Testing</i>
STRA	<i>Short Transverse Reduction Area</i>
T _{8/5}	<i>Tempo de Arrefecimento (desde 800 °C até 500 °C)</i>
T _c	<i>Temperatura de Cálculo</i>
T _p	<i>Temperatura de Pico</i>
TS	<i>Temperatura Máxima Admissível</i>
TAC	<i>Transformação com Arrefecimento Contínuo</i>
T-T-T	<i>Tempo-Temperatura-Transformação</i>
UT	<i>Ultrasonic Testing</i>
VT	<i>Visual Testing</i>
WPQR	<i>Welding Procedure Qualification Record</i>
WPS	<i>Welding Procedure Specification</i>
ZAC	<i>Zona Afetada pelo Calor</i>
ZF	<i>Zona Fundida</i>
ZTA	<i>Zona Termicamente Afetada</i>
a	<i>Garganta de soldadura</i>
e	<i>Extensão nominal</i>
t	<i>Espessura de material base</i>
s	<i>Espessura depositada</i>
α	<i>Ângulo de abertura de chanfro</i>
111	<i>Soldadura manual por arco com eletrodo revestido</i>
114	<i>Soldadura por arco com fio eletrodo autoprottegido</i>
121	<i>Soldadura por arco submerso com fio eletrodo sólido</i>
125	<i>Soldadura por arco submerso com fio eletrodo tubular</i>
132	<i>Soldadura por arco com fio eletrodo fluxado sob proteção de gás inerte</i>
135	<i>Soldadura por arco com fio eletrodo sólido sob proteção de gás ativo</i>
136	<i>Soldadura por arco com fio eletrodo fluxado sob proteção de gás ativo</i>
138	<i>Soldadura por arco com fio eletrodo tubular sob proteção de gás ativo</i>
141	<i>Soldadura por arco com eletrodo de tungsténio e material de adição sólido, sob proteção gasosa inerte</i>
142	<i>Soldadura autogénia por arco com eletrodo de tungsténio sob proteção gasosa inerte</i>
143	<i>Soldadura por arco com eletrodo de tungsténio e material de adição tubular, sob proteção gasosa inerte</i>
145	<i>Soldadura por arco com eletrodo de tungsténio sob proteção gasosa inerte com adição de gás redutor e um material de adição sólido</i>

Lista de Unidades

°C	<i>Graus celsius</i>
kJ	<i>Quilojoule</i>
kJ	<i>Quilojoule por milímetro</i>
MPa	<i>Mega-Pascal</i>
bar	<i>bar</i>
L	<i>Litro</i>
mm	<i>Milímetro</i>
m ³	<i>Metro Cúbico</i>
m ²	<i>Metro Quadrado</i>
V	<i>Volt</i>
A	<i>Ampère</i>
mm/s	<i>Milímetro por segundo</i>

Lista de Símbolos

C	<i>Carbono</i>
Si	<i>Silício</i>
Mn	<i>Manganês</i>
P	<i>Fósforo</i>
S	<i>Enxofre</i>
Al	<i>Alumínio</i>
N	<i>Azoto</i>
Cr	<i>Crômio</i>
Cu	<i>Cobre</i>
Mo	<i>Molibdênio</i>
Nb	<i>Nióbio</i>
Ni	<i>Níquel</i>
Ti	<i>Titânio</i>
V	<i>Vanádio</i>
B	<i>Boro</i>
W	<i>Tungstênio</i>
Zr	<i>Zircônio</i>
Fe-C	<i>Ferro-Carbono</i>
+N	<i>Normalizado</i>
+NT	<i>Normalizado e Revenido</i>
+QT	<i>Temperado e Revenido</i>

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento do trabalho a realizar, a motivação e objetivos que levaram à escolha deste tema, bem como a organização do documento.

1.1 Enquadramento

Desde há várias décadas que o recurso a equipamentos sob pressão, no âmbito de praticamente qualquer instalação industrial, e independentemente da sua finalidade ou propósito, é uma realidade inegável. É difícil encontrar instalações industriais modernas, ou mais antigas sem equipamentos de produção de energia, e, por conseguinte, sem equipamentos que a armazenem, transformem ou transportem essa mesma energia produzida. Podemos encontrar equipamentos sob pressão a todos estes níveis e, em particular os equipamentos produtores, atuam na generalidade dos casos como a fonte quente de um determinado ciclo termodinâmico [1].

Quando nos referimos a equipamentos produtores ou geradores de energia térmica, estamos tradicionalmente a referir-nos a caldeiras. Existe uma panóplia considerável de tipologias, quer de equipamentos sob pressão no geral, como de caldeiras que, não deixando de se apresentarem industrialmente em grande parte como equipamentos sob pressão, se irá particularizar em maior detalhe ao longo deste trabalho. Ao contrário do que acontecera no passado, por desconhecimento, e pelo peso do pioneirismo no desenvolvimento destes equipamentos, atualmente existem normas e códigos de construção específicos, que têm vindo, e vão continuar a ser desenvolvidos na tentativa de universalizar as melhores regras e práticas construtivas. Isto é válido para as diferentes etapas da conceção de um qualquer equipamento, isto é, para o projeto, fabrico, inspeção e montagem, bem como as suas etapas conexas. A obrigatoriedade de os fabricantes seguirem determinadas orientações presentes em normas e códigos de construção prende-se com obrigatoria e, portanto, necessária presunção de conformidade, conceito que se irá explorar mais adiante, com tudo que isso implica. E é esta mesma presunção de conformidade, requerida pela legislação vigente, que induz a que o mercado dos equipamentos sob pressão, sejam ou não caldeiras, se encontre extremamente regulamentado e legislado praticamente em todo o mundo. Tal justifica-se considerando as eventuais consequências e danos potenciais em caso de falhas.

A força da legislação atual, constitui várias dificuldades aos fabricantes do setor, que deixam de poder fabricar segundo, na melhor das hipóteses, as regras de boas práticas de engenharia, e passam a ter de respeitar especificidades objetivas no domínio do conhecimento intrínseco a cada equipamento ou tipologia de equipamento.

Adicionalmente ao mencionado, o facto de nem sempre as empresas fabricantes possuírem gabinete de engenharia próprio, exponencia a dificuldade de ultrapassar a situação, mantendo a necessária competitividade.

É frequente encontrarmos, junto dos fabricantes, o reconhecimento daquilo que consideram Engenharia, sempre ligado unicamente a atividades de cálculo propriamente dito, relativizando as necessidades de conhecimento necessárias para fabricar um equipamento sob pressão no seu todo.

Se é verdade que o cálculo é imprescindível e obrigatório, é também verdade que é apenas uma parte do vasto trabalho que é necessário desenvolver no âmbito da construção de um equipamento sob pressão.

É necessário que exista também engenharia capaz de especificar as restantes necessidades expressas nas demais partes de um código de construção aplicável, de forma a transformar objetivamente requisitos técnicos, regulamentares, legais e normativos em produtos conformes. E, é de comum conhecimento que, até para se concluir sobre a aplicabilidade de determinado requisito, a um determinado contexto, produto

ou regime de funcionamento é imprescindível um transversal conhecimento de engenharia e grau de atualização desse mesmo conhecimento, dada a dinâmica de alterações e ambiguidades que geralmente abundam a nível regulamentar.

Um dos fatores que tem levado a uma melhoria substancial das construções e incentivado a aplicação de orientações normalizadas de construção, não só em equipamentos sob pressão, como em outros equipamentos e máquinas, tem sido a crescente internacionalização dos produtos fabricados em Portugal. É sabido que, popularmente, se considera que no exterior – entenda-se, fora de Portugal, e em especial países nórdicos – o rigor é tido em conta de forma mais responsável. Esse motivo, imputa ao fabrico nacional uma disciplina também superior e um trabalho por vezes de alteração cultural na forma como fabrica as suas soluções, além da natural e necessária melhoria a nível de expertise das suas equipas e do grau e profundidade dos seus conhecimentos. É aliás frequente, trabalhar sobre a alçada de requisitos específicos de determinadas indústrias e/ou clientes, que superam os requisitos do próprio código de construção. Em particular no setor metalúrgico, de onde provém o fabrico desta tipologia de soluções industriais, e onde os equipamentos sob pressão nas suas variadas formas ocupam lugar de destaque.

A importância de uma caldeira de vapor tem necessariamente a ver com a amplitude da sua utilização nas instalações. As caldeiras são utilizadas nas mais diversas indústrias, pois garantem a produção de vapor, que é um fluido amplamente utilizado numa vasta gama de aplicações industriais, com a finalidade de permitir geração de outros tipos de energia que não a térmica, como por exemplo energia elétrica, ou servir outros processos nas diversas indústrias, como por exemplo a alimentar, farmacêutica, têxtil, madeireira, papelreira, entre outras. O vapor pode atuar como elemento ativo integrante no próprio processo (p.e. área alimentar), ou como meio auxiliar para permitir atingir o resultado desejado (p.e. produção de energia elétrica). Além do já mencionado, as caldeiras são um equipamento muito interessante sob ponto de vista de consumo energético, pois podem ser alimentadas por diversos combustíveis, sejam estes de origem fóssil ou não [2].

1.2 Objetivos

Como já referido, aquilo a que se intitula projeto, não se encerra especificamente no cálculo de determinado equipamento ou sistema, quando objetivamente estamos na posição de fabricante. Nesse sentido, o autor propõe-se a desenvolver um trabalho de especificação transversal, no âmbito da construção de equipamentos sob pressão, e em particular caldeiras, que permita:

- ✓ Entender toda a conjuntura legal e regulamentar a que estão sujeitos estes equipamentos desde a génese, ou seja, desde a necessidade objetiva de desenvolver tal equipamento, apresentando um estado de arte relativo ao tipo de soluções que atualmente existem;
- ✓ Conhecer quais os fundamentos normativos que dão suporte ao cumprimento legal e à presunção de conformidade que é necessária, para os equipamentos, instalações e fabricantes, em função de variáveis como a regulamentação a que estão sujeitos, enquadramento, contexto de operação e finalidade dos mesmos;
- ✓ Estabelecer uma forma possível para, de acordo com os parâmetros de cálculo disponíveis, passar ao projeto de detalhe e especificação para construção;
- ✓ Documentar uma metodologia estruturada de abordagem à garantia da qualidade da construção soldada de caldeiras industriais de produção de vapor, com base em legislação e normalização. Quer a normalização associada, quer a legislação vigente irão determinar e dar suporte às tomadas de decisão do autor, no decurso da atividade de especificação, quer ao nível de qualificações requeridas, quer ao nível da inspeção e ensaios;
- ✓ Construir um guia para que interessados no tema, e em particular fabricantes, possam ter o conhecimento organizado, sistematizado e atual, à data da emissão deste documento.

1.3 Organização do documento

Este documento está organizado em cinco capítulos e vários subcapítulos, com vista a facilitar a leitura e compreensão do mesmo. Os capítulos podem ser resumidos da seguinte forma:

- **Capítulo 1 - Introdução**
Neste capítulo apresenta-se o enquadramento deste trabalho, os objetivos e a organização do documento;
- **Capítulo 2 - Revisão bibliográfica**
Este capítulo visa elaborar uma revisão bibliográfica sobre equipamentos sob pressão no geral, e em particular sobre caldeiras industriais. São abordadas as suas principais tipologias e classificação, componentes e disposições construtivas, bem como são apresentados os requisitos legais e normativos aplicáveis previstos para a construção de equipamentos sob pressão, e em particular caldeiras industriais de produção de vapor.
- **Capítulo 3 – Especificação para construção de uma Caldeira de Vapor**
Neste capítulo pretende-se percorrer especificamente o código de construção e normas conexas relevantes, aplicáveis à construção de uma caldeira de vapor, e dos diversos pontos que constituem o código, construir uma metodologia que seja capaz de responder e tocar em todos os requisitos de construção da caldeira, desde o enquadramento legal até à inspeção e ensaio. Propõe-se uma metodologia com base em levantamentos de necessidades em cada etapa a partir da informação de projeto fornecida, para posteriormente ser trabalhada e daí retirar resultados objetivos.
- **Capítulo 4 - Resultados**
Este capítulo é dedicado à exposição dos resultados obtidos da interpretação dos códigos aplicáveis ao equipamento em estudo;
- **Capítulo 5 - Conclusões e trabalhos futuros**
As conclusões são apresentadas e discutidas neste capítulo, e são ainda sugeridas hipóteses para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo destina-se a fazer uma revisão bibliográfica sobre os equipamentos sob pressão, frequentemente utilizados em diversas instalações industriais. Dependendo da finalidade e constrangimentos de cada instalação, o(s) equipamento(s) sob pressão nela utilizado(s), podem assumir várias funções, bem como surgir em vários formatos, de forma a obedecer a requisitos previamente especificados. São disso exemplo as caldeiras industriais, sobre as quais incide o estudo.

Os recipientes sob pressão são parte integrante de inúmeras instalações industriais. São concebidos para permitir o armazenamento seguro de líquidos e gases pressurizados, que irão servir propósitos diversos ao longo da instalação, dependendo da finalidade para o qual foram projetados [3].

De uma forma genérica, os recipientes podem conter qualquer fluido sob pressão, para posterior utilização, em tarefas da instalação do qual fazem parte, ou outras para as quais tal energia seja direcionada. Desde sistemas de tubagem, caldeiras industriais, camiões-tanque a reservatórios estáticos de armazenamento de combustíveis, são inúmeros os contextos em que podemos encontrar tais elementos. Um fator comum a todos estes contextos, e em particular aos próprios recipientes, é que os mesmos operam numa ampla variedade de ambientes potencialmente perigosos, mais não seja pela sujeição ao fator pressão, que por si só representa riscos. Somando à existência intrínseca de tal severidade, a existência de um projeto, fabrico, inspeção ou operação desadequados, potenciam exponencialmente o risco. Historicamente, o primeiro registo documentado de recipientes sob pressão encontra-se descrito no Livro Codex Madrid I, datado de 1495, onde reservatórios de ar pressurizado foram desenvolvidos e utilizados para elevar grandes pesos debaixo de água. Nessa utilização foi empregue vapor gerado em caldeiras, como fonte de energia principal. Tal descoberta, estimulou a revolução industrial à época [4].

Apesar do feito, a existência de materiais de construção com muito baixa qualidade e aptidão para sofrer processamento industrial, técnicas de fabricação ineficazes e, como principal limitação, os conhecimentos inadequados relativos a projeto, operação e manutenção, levaram à utilização de equipamentos que após instalação e operação, por carecerem de deficiências técnicas várias, provocaram um grande número de acidentes graves (ver Figura 1) com relativa frequência, muitos deles implicando a perda de várias vidas humanas e destruição de infraestruturas.



Figura 1 – Caldeira da Exxon Mobil em Singapura antes da explosão (a) depois da explosão (b) [5]

Devido ao elevado crescimento da utilização de vapor de água como fonte de energia, a 10 de Março de 1905 em Brockton, Massachussets nos Estados Unidos da América, ocorreu um trágico acidente, provocado pelo rebentamento de uma caldeira numa fábrica de calçado, resultando numa explosão sem precedentes conhecidos naquela altura. Neste acidente faleceram 58 pessoas e 117 ficaram feridas. Além das perdas humanas, as materiais ascenderam a cerca de um quarto de milhão de dólares [6].

A frequência e gravidade com que tais ocorrências eram registadas ao longo do tempo, levaram a que várias delegações estatais dos Estados Unidos comesçassem a criar regras para a construção de equipamentos sob pressão, pelo risco que os mesmos constituíam para a sociedade. Pela severidade do sucedido, durante o ano de 1907, foi publicada uma primeira versão de um código legal para construir equipamentos sob pressão, que naquela data já continha também algumas orientações sobre a sua inspeção. Em 1908, o estado de Ohio elaborou uma legislação similar, embora já considerando alguns melhoramentos relativamente ao que até à data se encontrava regulado. A atividade de tentativa de regulamentação, à escala local tomou alguma dimensão desde aí, passando a imperar uma miscelânea de orientações, para uma mesma finalidade. Esta medida, veio trazer aos fabricantes dificuldades acrescidas na fabricação e posteriormente na comercialização dos seus equipamentos no que dizia respeito ao acompanhamento e implementação dessas mesmas regras criadas. Em especial, tendo em conta que os equipamentos eram instalados em várias localizações, os fabricantes teriam de observar obrigatoriamente as regras que afetassem a fabricação por si só, como também os requisitos aplicáveis no local da instalação dos equipamentos, na perspectiva de se colocarem em cumprimento com as orientações estatais à data, e naquele local [7].

A diversidade das interpretações possíveis das regras e diretrizes criadas, e a expectável indefinição em determinadas regras a cumprir pelos fabricantes, levantaram à necessidade da existência de um conjunto transversal de regras que fosse reconhecido e compreendido por todos os operadores do meio. A tentativa de suprir a necessidade de uniformização, bem como disseminar aspetos de segurança, deu origem em 1911, ao ASME-BPVC, que viria a ser oficialmente lançado em 1914, com o intuito de se tornar a base técnica sólida comum para a construção de tais equipamentos.

No decurso da atividade industrial crescente, e objetivamente a necessidade de recipientes de alta pressão nas indústrias químicas e petroquímicas, despoletou e alavancou o fabrico desses equipamentos com recurso ao processo de soldadura, visto que a construção à base de ligações rebitadas era manifestamente insuficiente para as pressões e temperaturas exigidas. Atendendo à necessidade objetiva que se impunha, nas décadas de 1920 e 1930 a ASME, organização responsável pelo desenvolvimento do BPVC, incluiu a soldadura como um processo de produção aceitável à luz do código [4]. Manifestamente foi um dos desenvolvimentos mais relevantes, e ainda hoje a soldadura é o principal meio de união de materiais no âmbito destas construções. De salientar, o ano de 1924, em que a ASME elaborou a Secção VIII – “Unfired Pressure Vessels”, especificamente vocacionada para a construção e inspeção de equipamentos sob pressão não sujeitos à ação de chama direta [7]. Secção que, até hoje se mantém, mas repartida em três partes, de acordo com a seguinte estrutura:

- ASME BPVC Section VIII Div 1: Regras gerais para construção de equipamentos sob pressão
- ASME BPVC Section VIII Div 2: Regras alternativas para construção de equipamentos sob pressão
- ASME BPVC Section VIII Div 3: Regras alternativas para construção de equipamentos de muito alta pressão.

Muitos avanços existiram desde essas décadas até à atualidade. Além da natural evolução dos materiais, e facilidade de acesso aos mesmos, técnicas e processos, vários ramos da engenharia necessários ao desenvolvimento de equipamentos sob pressão sofreram uma notável evolução nas últimas décadas, em busca da melhoria em consonância com a conformidade necessária.

Existem atualmente, em comparação com o passado, não só melhores meios, técnicas e materiais, como também conhecimento e recursos para os desenvolver. É disso exemplo o desenvolvimento de *software* baseado em FEA – *Finite Element Analysis*, e em códigos de construção, que quando colocados ao

serviço da resolução de problemas de engenharia complexos, permitem chegar a resultados de forma mais eficaz e eficiente, traduzindo-se naturalmente em soluções otimizadas a nível técnico e económico, praticamente em qualquer contexto de aplicação. Também os códigos de construção continuam a ser desenvolvidos e melhorados. As necessidades industriais são dinâmicas, e se por um lado a necessidade de atualização de códigos de construção se prende com o evidente desenvolvimento da técnica, prende-se também com a inclusão e definição de novas metodologias aceites para incluir novas situações ou contextos industriais relevantes que se revelem de tal forma úteis, que motivem a disseminação deste conhecimento via esses mesmos códigos de construção. Apesar de as primeiras tentativas de especificar e compilar conhecimento e regras transversais no contexto de fabrico de equipamentos sob pressão remeterem para um contexto industrial americano, atualmente o ASME BPVC é utilizado em muitos outros países, como o seu código oficial sendo este reconhecido legalmente e localmente, na base da construção de equipamentos sob pressão, constituindo a sua utilização, a presunção de conformidade necessária para livre comercialização no mercado de destino.

Desde há muito, todos reconhecem os riscos potenciais inerentes aos equipamentos sob pressão, bem como as necessidades de orientações transversais, isto é, de códigos, que regulem a sua construção e instalação, independentemente do país. Não obstante o ASME BPVC, ser o mais antigo de todos os códigos documentados [8], existem hoje outros comumente aceites que foram sendo desenvolvidos a partir da mesma necessidade. Da mesma forma que alguns foram criados e posteriormente abandonados ou caindo em desuso, como veremos adiante, outros mantiveram-se e são referências que se mantêm fortemente ativas e em permanente atualização nas suas diversas partes constituintes, como a EN 13445, EN 12952 ou a EN 12953. Em particular, no setor da construção dos equipamentos sob pressão, sejam ou não especificamente caldeiras, é incontornável a constante atualização legal e normativa associada. Este aspeto constitui, tal como outrora, uma natural dificuldade de permanecer atual, visto que frequentemente temos a competir entre si diretrizes legais e regulamentares específicas de cada região ou país, e os requisitos formais presentes dos seus códigos correspondentes, em determinada versão aceite aquela mesma data. O aspeto preponderante não é só que base usar, mas também qual a versão reconhecida que se pode ou deve usar.

As caldeiras industriais, geralmente são equipamentos sob pressão (ESP), as quais, atualmente em Portugal e praticamente em todo o mundo, por lei, obedecem a rigoroso controlo de qualidade, quer durante o projeto, quer na fase de construção. Para melhor entender a problemática associada, é imprescindível conhecer a tipologia, constituição e terminologia dedicada aos equipamentos sob pressão. O Anexo 1 apresenta um manual dedicado à construção de caldeiras industriais, incluindo a identificação dos requisitos de qualidade aplicáveis à construção deste tipo de equipamentos.

3 PROJETO DE DETALHE – Especificação para Construção

Neste capítulo irá ser realizada a descrição da metodologia de abordagem adotada para realizar as etapas de projeto que ainda não se encontrem especificadas. Pretende-se demonstrar uma forma de abordar a construção soldada, a partir da informação rarefeita que por vezes chega aos fabricantes, tendo em vista o cumprimento de todos os requisitos aplicáveis à correta construção do equipamento, e responsabilidades do fabricante de equipamentos sob pressão, que no caso é uma caldeira industrial de produção de vapor.

Enquadramento:

Antes da etapa de execução do fabrico efetivo de qualquer equipamento, é fundamental que todas as especificações relativas às etapas prévias estejam desenvolvidas.

Por força da reduzida disponibilidade de recursos técnicos, ao nível de todas as competências necessárias à construção de um equipamento sob pressão, a situação mais comum é o próprio fabricante ter de recorrer a serviços externos nas etapas que não sejam fabricação pura. Processo que, não representa à partida qualquer problema. O recurso a competências externas tende a incidir somente sobre o “projeto” do equipamento, que de uma forma generalizada se resume tão somente à etapa cálculo e dimensionamento dos componentes previstos nos códigos de construção e normas de produto, que como já foi mencionado, é apenas uma das partes necessárias ao projeto de equipamentos sob pressão. Estas circunstâncias compelem ao fabricante a definição das demais especificações necessárias, (presumem que o mesmo possua os conhecimentos necessários) e aumentam o *gap* na articulação entre o responsável pelo cálculo e o fabricante, sendo que muitas vezes não são a mesma entidade. A metodologia adiante pretende descrever todas as etapas, também elas necessárias ao projeto, que devem ser desenvolvidas bem como o que tem de ser observado, por forma a que o fabricante possa ter todos os elementos para produzir uma caldeira industrial de produção de vapor. Salienta-se que é uma metodologia possível sugerida, devidamente articulada de forma a respeitar as dependências hierárquicas e interdependências de informações, bem como as suas fontes, na ótica de um engenheiro e/ou responsável de soldadura. Este recurso deve compreender-se e assumir-se como o elo de ligação impreterível e indispensável entre o projetista, que se dedica a calcular e dimensionar o equipamento, e o fabricante cuja finalidade é produzir com base em todas as especificações perfeitamente desenvolvidas além do cálculo, mas articuladas com este.

3.1 Abordagem ao projeto, interpretação e verificações prévias

A abordagem a uma qualquer construção, deve ter por base o conhecimento dos requisitos legais e regulamentares aplicáveis ao produto, normas, bem como outros de carácter transversal à aplicação da técnica no tipo de construções em causa. Além do conhecimento propriamente dito, é necessário e fundamental garantir a sua atualidade e aplicabilidade a determinada construção. No que diz respeito à aplicação das normas, elas são essencialmente classificadas em três tipos. As **normas harmonizadas** cuja observância é obrigatória, e são aquelas que garantem a presunção da conformidade do produto e que são referenciadas nas diretivas comunitárias. As **normas de produto** são as que fornecem orientações mais objetivas sobre a construção dos equipamentos, podendo surgir também sobre a forma de códigos

de construção, que no fundo são agrupamentos de normas de aplicação aos produtos, cada parte tratando de um tema específico (Ex: materiais, cálculo, fabrico, inspeção, ...). Por seu turno as **normas transversais** são aquelas que suportam condições afetas ao produto, que podem ser de aplicação voluntária, ou obrigatória caso figurem em diretivas, contratos ou normas de produto. Este exercício é válido em todas as frentes de construção, que a seguir se apresentam de forma mais detalhada, mediante as informações de cálculo e conforme o desenho de suporte ao cálculo. Sendo possível e existindo dados em quantidade suficiente recomenda-se que desde logo se proceda à determinação do procedimento de avaliação da conformidade de acordo com a diretiva aplicável

3.2 Caracterização da Caldeira de Vapor

O exercício de especificação de uma caldeira de vapor, após a realização do processo de cálculo, deve iniciar-se por uma caracterização e interpretação objetiva das suas partes constituintes, bem como das informações que já devem encontrar-se definidas, como os materiais, condições de operação do equipamento, identificação das partes e respetivas dimensões. Regra geral esta informação surge num desenho, que carece de especificações objetivas quanto à construção propriamente dita, métodos de fabrico ou indicações no domínio dos requisitos que se apliquem à execução das soldaduras, controlo em fabrico e inspeção. Apresenta-se nas Figuras 2 a 4 e Tabelas 1 e 2 a informação fornecida pelo projetista.

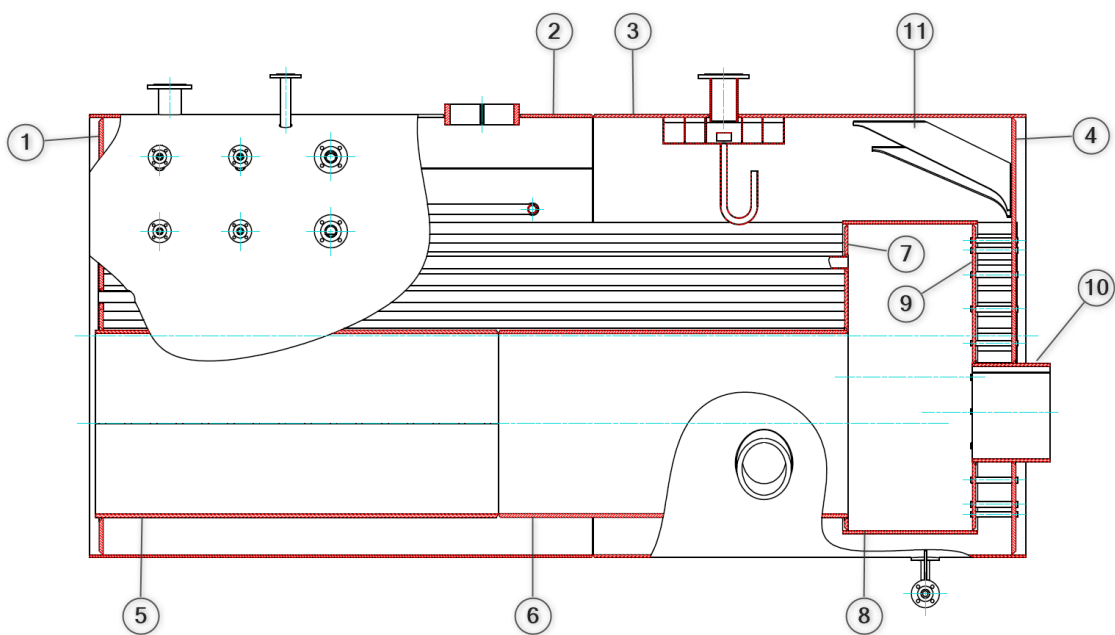


Figura 2 - Caldeira de Vapor - Vista em Corte

Tabela 1 - Lista de Material do Corpo

Item	Descrição	Material	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)
1	Tampo frontal	EN 10028-2: P265GH	2172	20
2	Virola do corpo frontal	EN 10028-2: P265GH	2200	14
3	Virola do corpo traseira	EN 10028-2: P265GH	2200	14
4	Tampo traseiro	EN 10028-2: P265GH	2172	20
5	Virola do tubo de fogo frontal	EN 10028-2: P265GH	928	18
6	Virola do tubo de fogo traseira	EN 10028-2: P265GH	928	18
7	Tampo anterior câmara de inversão	EN 10028-2: P265GH	1522	14
8	Virola câmara de inversão	EN 10028-2: P265GH	1550	14
9	Tampo posterior câmara de inversão	EN 10028-2: P265GH	1522	14
10	Tubo de acesso à câmara de inversão	EN 10028-2: P265GH	488	14
11	Ancoragens	EN 10028-2: P265GH	-	14

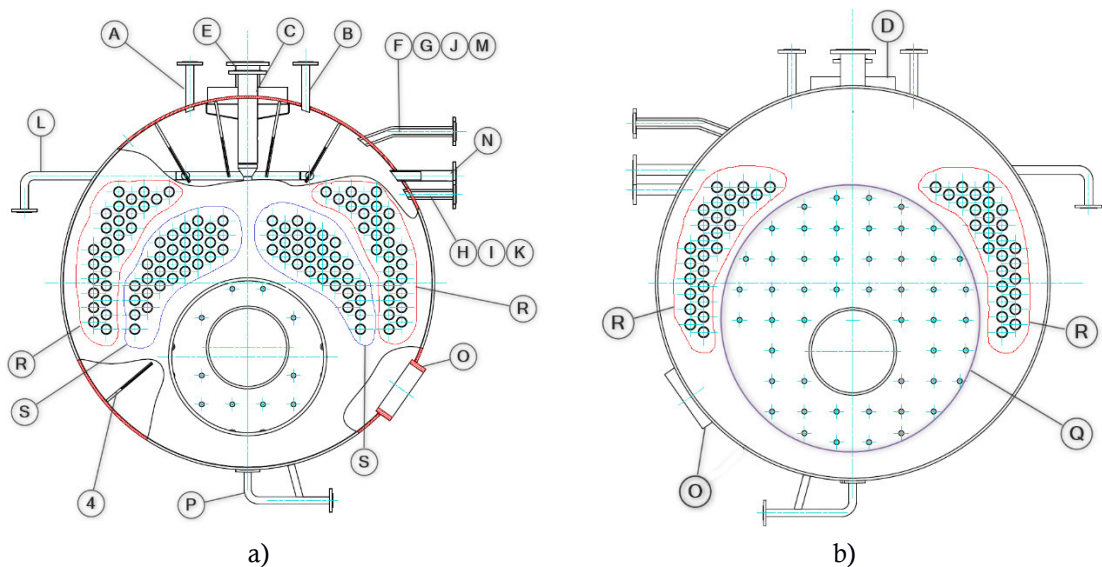


Figura 3 - Caldeira de Vapor - Vista de frente a) e vista de trás b)

Tabela 2 - Lista de Tubagem

Item	Descrição	Material	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)
A	Tubuladura válvula segurança	EN 10216-2: P235GH	48,3	5,6
B	Tubuladura válvula segurança	EN 10216-2: P235GH	48,3	5,6
C	Tubuladura segurança N.M.B.	EN 10216-2: P235GH	114,3	7,1
D	Postigo entrada homem	EN 10216-2: P235GH	370x470	25
E	Saída de vapor	EN 10216-2: P235GH	139,7	8
F	Tubuladura N.S.E	EN 10216-2: P235GH	48,3	5,6

Tabela 2 - Lista de Tubagem (continuação)

Item	Descrição	Material	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)
G	Tubuladura N.S.D	EN 10216-2: P235GH	48,3	5,6
H	Tubuladura N.I.E	EN 10216-2: P235GH	48,3	5,6
I	Tubuladura N.I.D	EN 10216-2: P235GH	48,3	5,6
J	Tubuladura Regulador Nível Sup.	EN 10216-2: P235GH	60,3	5,6
K	Tubuladura Regulador Nível Inf.	EN 10216-2: P235GH	60,3	5,6
L	Tubuladura água alimentação	EN 10216-2: P235GH	60,3	5,6
M	Tubuladura aquecimento combustível	EN 10216-2: P235GH	48,3	5,6
N	Tubuladura purga superfície	EN 10216-2: P235GH	60,3	5,6
O	Postigo visita	EN 10216-2: P235GH	270x370	25
P	Tubuladura purga fundo	EN 10216-2: P235GH	48,3	7,1
Q	Estais de suporte	EN 10028-2: P265GH	28	28
R	Tubos terceira passagem de fumos	EN 10216-2: P235GH	60,3	3,2
S	Tubos segunda passagem de fumos	EN 10216-2: P235GH	60,3	3,2

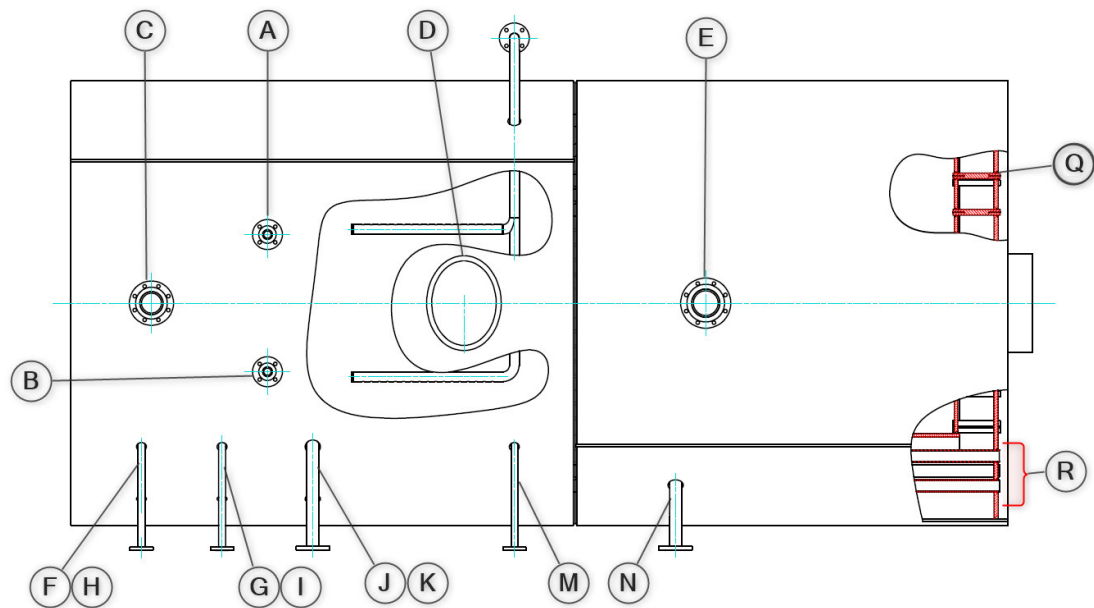


Figura 4 - Caldeira de Vapor - Vista de cima

Adicionalmente à informação plasmada nas tabelas anteriores, para desenvolver a restante especificação da construção soldada, é necessário conhecer no mínimo, as características que constam na Tabela 3.

Tabela 3 - Características do Equipamento

Características	Valor
Fluido	Vapor Saturado
Temperatura de Cálculo (TS)	195 °C
Pressão de Cálculo (PS)	13 bar
Volume	10 m ³
Sub Espessura de Corrosão	0,75 mm
Fator de Soldadura	0,85
Código de Construção	EN 12953

3.3 Materiais e Critérios de Fabricação e Inspeção

No seguimento da interpretação que foi feita anteriormente, não só relativamente às propriedades operacionais do equipamento que foram fornecidas, mas também dos materiais selecionados pelo projetista, segue-se realizar uma colheita rigorosa de todas as propriedades relevantes desses mesmos materiais, que servirá de base ao trabalho de especificação posterior. Caso não se encontre devidamente explicitado, as propriedades devem ser obtidas a partir das normas de produto correspondentes, conforme a forma de obtenção do produto, formato e finalidade para o qual foi desenvolvido. O Anexo 2, contém informação relativa a materiais de base e materiais de adição utilizados na construção de ESP, bem como a sua relação com a soldabilidade e normas aplicáveis. De facto, angariadas as informações mencionadas nos pontos anteriores, compete de seguida realizar um estudo mais pormenorizado acerca da soldabilidade dos materiais e juntas a soldar, tendo em conta os processos de soldadura que tiverem sido selecionados. Analisadas as disposições de carácter geral, deve seguir-se com o apuramento de todos os fatores específicos relacionados com a fabricação e cálculo do seu domínio de aplicação (Anexo 2). O fabricante, em todo o momento, é responsável por assegurar que se cumprem todos os pressupostos e requisitos em todos os equipamentos produzidos. A inspeção, no sentido operacional do termo, é uma das tarefas mais importantes que contribui para um controlo de qualidade efetivo das construções.

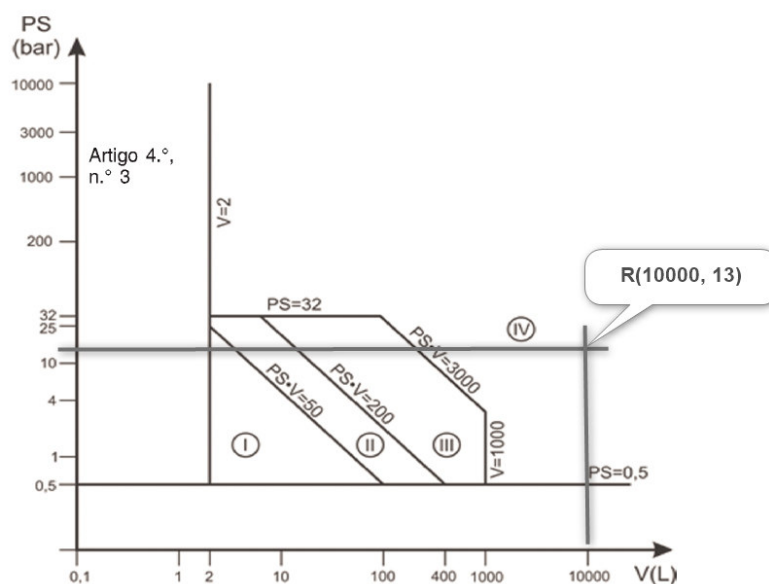
4 RESULTADOS

Este capítulo é dedicado à apresentação dos resultados provenientes da aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior. O capítulo é redigido respeitando uma sequência e lógica de precedências entre atividades. Estas são desenvolvidas e encadeadas para que, atempadamente, se determinem todas as eventuais variáveis e/ou parâmetros que sejam necessários em pontos seguintes. É privilegiado, sempre que possível, o recurso à demonstração de resultados organizados em tabelas.

4.1 Seleção do módulo de avaliação da conformidade

A informação fornecida (Tabelas 1, 2 e 3) é manifestamente insuficiente para prosseguir com as etapas posteriores ao cálculo. Por essa razão deve desde logo ser considerada, começando pela informação de carácter subjacente à aplicação da diretiva, ou seja, determinar a classe de risco do equipamento e o módulo de avaliação da conformidade que se deseje e se julgue pertinente para o presente caso. Atendendo às características do equipamento, ou seja, um equipamento sob pressão sujeito à ação de chama com Pressão Máxima Admissível (PS) = 13 bar e Volume = 10 000 L, em consequência da aplicação da diretiva 2014/68/EU (Tabela 4) obtém-se a **Classe de Risco IV**.

Tabela 4 - Determinação da Classe de Risco [9]



Como já foi analisado, a determinação da classe de risco depende das características do equipamento e fluídos, enquanto que o módulo de avaliação da conformidade deve ser selecionado pelo fabricante (quando não se encontra já definido) à custa de um enquadramento que o mesmo lhe queira atribuir, no que respeita à forma como se chegará à obtenção de uma solução técnica e legalmente bem construída, e passível de se comercializar em espaço económico europeu. Fruto da determinação da classe de risco, o fabricante deverá proceder à seleção do módulo de avaliação conforme indicado no Capítulo 2. A realidade da construção de caldeiras assenta essencialmente em projetos à medida, sendo o projeto

executado de acordo com as necessidades caso a caso. Por esta razão, a escolha recai naturalmente no módulo de avaliação da conformidade baseada na verificação unitária, ou seja, **módulo G**, pelo que compete:

Ao fabricante: Colocar à disposição do organismo notificado selecionado por si, toda a documentação técnica, que permita a avaliação da conformidade do equipamento com os requisitos essenciais de segurança aplicáveis, bem como emitir a Declaração UE de conformidade.

Ao organismo notificado: examinar e supervisionar as atividades do fabricante, em confrontação com os requisitos da diretiva, bem como no final emitir um certificado de conformidade e apor conjuntamente com o fabricante o seu número de identificação no equipamento aprovado.

4.2 Seleção de processos de soldadura e materiais de adição

A seleção dos processos de soldadura tipicamente atende a critérios de produtividade e disponibilidade interna do fabricante, visto que existem materiais de adição disponíveis no mercado para uso em praticamente todos os processos na soldadura de aços ao carbono, como é o presente caso. Outro aspeto determinante é a acessibilidade das juntas a soldar. Apesar de, idealmente não dever ser uma limitação, é fundamental atender às competências técnicas internas instaladas por parte dos soldadores, vista a sua implicação no processo. No presente caso, o fabricante dispõe nas suas instalações dos processos 111, 138 e 141, pelo que serão esses os considerados para execução das soldaduras de todo o equipamento. A seleção dos materiais de adição deverá atender aos critérios que foram anteriormente já descritos, em particular no que diz respeito às suas propriedades químicas e mecânicas após metal depositado (na condição *As Welded*). Desta forma, a primeira fase é a etapa comparativa dessas propriedades, de acordo com a classificação dos materiais e tendo em conta as necessidades específicas do projeto. Foram, portanto, selecionados os materiais de adição, que pudessem cumprir com os requisitos, conforme a seguir se especificam (Tabelas 5 a 10).

Processo 111: EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5

Tabela 5 - Composição química especificada (valores máximos, em % de massa)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	V	N	Cu	Al
Pela norma do material de adição [10]												
-	-	<2,0	-	-	<0,2	<0,3	<0,2	<0,05	<0,05	-	<0,3	-
Certificado no material de adição/Recebido para fabrico												
0,06	0,67	1,1	0,013	0,007	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	-	0,1	

Tabela 6 - Propriedades mecânicas especificadas

Condição	Tensão de Cedência R_{eH} (MPa)	Tensão de Rotura R_m (MPa)	Alongamento (%)	Propriedade de Impacto (J)
				T = - 40 °C
Após deposição	Pela norma do material de adição [10]			
	420	500 - 640	20	47
Após deposição	Certificado do material de adição			
	475	565	29	115

Processo 138: EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5*Tabela 7 - Composição química especificada (valores máximos, em % de massa)*

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	V	N	Cu	Al
Pela norma do material de adição [11]												
0,18	0,90	2,00	0,030	0,030	0,20	0,50	0,30	-	0,08	-	-	2,0
Certificado no material de adição/Recebido para fabrico												
0,082	0,52	1,45	0,012	0,012	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	-	0,04	-

Tabela 8 - Propriedades mecânicas especificadas

Condição	Tensão de Cedência R _{eH} (MPa)	Tensão de Rotura R _m (MPa)	Alongamento (%)	Propriedade de Impacto (J)
				T = - 20 °C
Após deposição	Pela norma do material de adição [11]			
	420	500 - 640	20	47
Após deposição	Certificado do material de adição			
	503	611	26	106

Processo 141: EN ISO 636-A: W 46 4 W4Si1*Tabela 9 - Composição química especificada (valores máximos, em % de massa)*

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti+Zr	V	Cu	Al
Pela norma do material de adição [12]											
0,06-0,14	0,80-1,20	1,60-1,90	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15	0,15	0,03	-	0,02
Certificado no material de adição/Recebido para fabrico											
0,07	0,94	1,63	0,010	0,008	0,04	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,11	<0,01

Tabela 10 - Propriedades mecânicas especificadas

Condição	Tensão de Cedência R _{eH} (MPa)	Tensão de Rotura R _m (MPa)	Alongamento (%)	Propriedade de Impacto (J)
				T = - 40 °C
Após deposição	Pela norma do material de adição [12]			
	460	530 - 680	20	47
Após deposição	Certificado do material de adição			
	525	595	26	150

Após verificação de que os materiais selecionados cumprem, numa primeira instância, os requisitos do projeto, é necessário analisar cada junta a soldar, para que se consiga distribuir para cada uma os

repetidos processos de soldadura a utilizar. A identificação das juntas deve permitir agrupar as soldaduras por tipologia, de forma a conceber não só as suas geometrias, os procedimentos de soldadura mínimos necessários, bem como a rastreabilidade, pelo que, o passo que se segue é justamente identificar de forma inequívoca cada soldadura.

Para efeitos de interpretação das referências atribuídas às soldaduras, o autor propõe a identificação de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Método de atribuição de referências às soldaduras

Referência	Descrição
c	Soldadura Circunferencial
l	Soldadura Longitudinal
n	Soldadura Tubuladura-Viola Exterior
f	Soldadura Tubo-Flange
a	Outras soldaduras em tubos ou acessórios
u	Outras soldaduras

A codificação escolhida pelo autor representada nas Figuras 5 a 7, tem em vista tornar-se o mais sugestiva possível tomando por base o pressuposto de que, em equipamentos sob pressão, e em particular caldeiras de vapor e/ou outras, de alguma forma haverá sempre soldaduras conforme as indicadas (longitudinais, circunferenciais,...). Por outro lado, nos códigos de construção destes equipamentos, a terminologia adotada é similar, pelo que favorece a universalidade da linguagem.

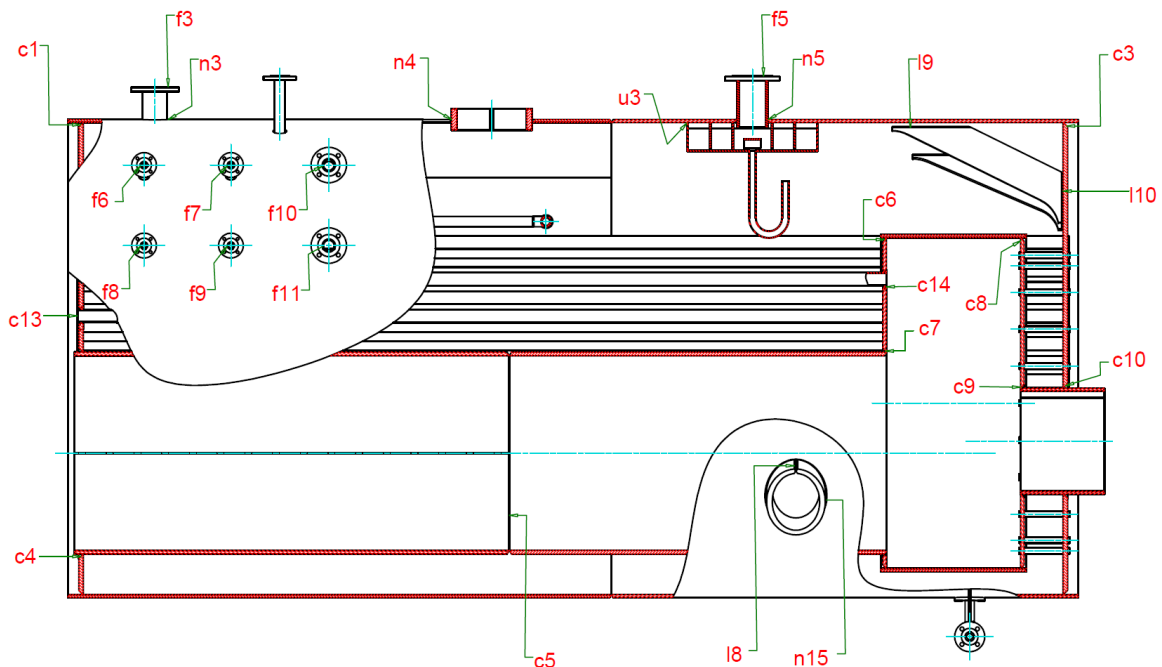


Figura 5 - Caldeira de Vapor - Vista em Corte (referenciada)

Desta forma, as demais variáveis necessárias serão retiradas das normas transversais, em função dos processos de soldadura selecionados e demais condições operatórias inicialmente idealizadas. Para a especificação elaborada na Tabela 12 foi utilizada, em complemento à EN 12953, a norma ISO 1708-1, que define detalhes de junta para soldaduras em aços de componentes pressurizados [13].

Posto isto, da obrigatoriedade de seguir o código de construção de caldeiras, identificam-se na Tabela 54 especificação dos critérios para determinar juntas típicas do equipamento.

Tabela 12 - Critérios para dimensionamento das juntas [14]

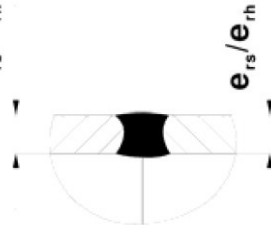
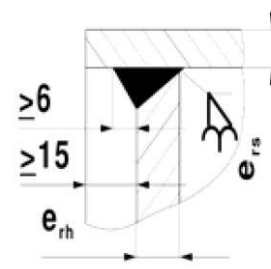
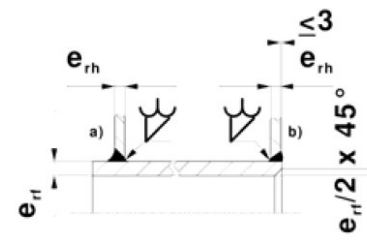
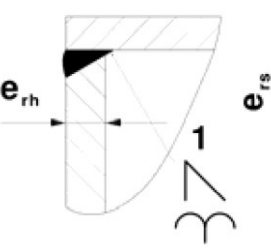
Localização	Tipo de Junta	Requisito Aplicável	Descrição
1. Virola do Corpo	Topo a topo (Espessuras iguais)		e_{rh} = Espessura de parede do tambo. e_{rs} = Espessura de parede da virola (soldadura circunferencial ou longitudinal)
2. Tampos planos	Em T com penetração total. (soldadura predominantemente pelo exterior)		e_{rh} = Espessura de parede do tambo. e_{rs} = Espessura de parede da virola (soldadura circunferencial)
3. Tubo de Fogo	Topo a topo (Espessuras iguais)		Soldaduras Longitudinais
	Em T com penetração total. (soldadura predominantemente pelo exterior)		e_{rh} = Espessura de parede do tambo. e_{rf} = Espessura de parede da virola (soldadura circunferencial) a) Lado Frio b) Lado Quente
4. Câmara de Inversão	Topo a topo (Espessuras iguais)	Igual a 1.	Soldaduras Longitudinais
	Em T com penetração total. (soldadura predominantemente pelo exterior da câmara)		e_{rh} = Espessura de parede do tambo. e_{rs} = Espessura de parede da virola (soldadura circunferencial anterior interna – lado quente)

Tabela 12 - Critérios para dimensionamento das juntas [14] (continuação)

Localização	Tipo de Junta	Requisito Aplicável	Descrição
4. Câmara de Inversão	Em T com penetração total. (soldadura predominantemente pelo exterior da câmara)		e_{rh} = Espessura de parede do tampo. e_{rs} = Espessura de parede da virola (soldadura circunferencial anterior externa – lado quente)
5. Tubo de acesso à câmara de inversão	Topo a topo (Espessuras iguais)	Igual a 1.	Soldaduras Longitudinais
	Em T com penetração total. (soldadura predominantemente pelo exterior da câmara)		e_{rh1} = Espessura de parede do tampo da câmara de inversão. e_{rh2} = Espessura de parede do tampo exterior do corpo e_{rt} = Espessura de parede do tubo de acesso à câmara de inversão.
6. Ancoragens	Em T com penetração total. (igual de ambos os lados)		e_g = Espessura das ancoragens. e_{rs} = Espessura de parede da virola (soldadura circunferencial)
7. Tubos de fumos	De ângulo em $\frac{1}{2} V$ com penetração parcial (Lado tampo exterior do corpo)		$g \geq 1,25 \cdot e_t$
	De ângulo em $\frac{1}{2} V$ com penetração parcial (Lado tampo câmara de inversão)		
8. Estais de suporte	De ângulo em J, com penetração parcial (Lado quente – Câmara de inversão)		e_{st} = Espessura remanescente. d_s = Diâmetro do estai R = raio a preparação de junta $g \geq 0,35 \cdot d_s$ e_{rh} = Espessura de parede do tampo.

Tabela 12 - Critérios para dimensionamento das juntas [14] (continuação)

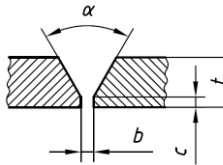
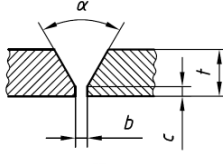
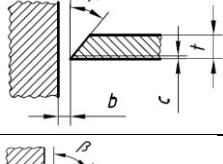
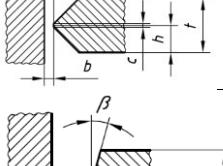
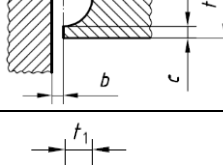
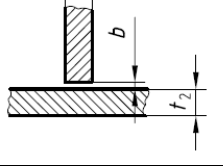
Localização	Tipo de Junta	Requisito Aplicável	Descrição
8. Estais de suporte	De ângulo em ½ V, com penetração parcial (Lado frio- exterior do equipamento)		<p>e_{st} = Espessura remanescente.</p> <p>d_s = Diâmetro do estal</p> <p>R = raio a preparação de junta</p> <p>$g \geq 0,35 \cdot d_s$</p> <p>e_{rh} = Espessura de parede do tambo.</p>
9. Aberturas/ Picagens	Atravessantes, com penetração total e acesso ao interior		<p>e_{rb} = espessura do tubo</p> <p>e_{rs} = Espessura de parede da virola</p>
	Atravessantes, com penetração total e acesso ao interior e reforço		<p>e_{rp} = espessura do reforço</p> <p>a = garganta de soldadura</p>
10. Flanges	Montagem penetrante na flange		<p>e_{ta} = espessura do tubo</p> <p>a_1 = garganta de soldadura exterior</p> <p>a_2 = garganta de soldadura interior</p> <p>$a_1 + a_2 \geq 1,4 \cdot e_{ta}$</p>

⁽¹⁾ Dimensões em milímetros

As dimensões acima referidas não incluem tolerâncias de fabrico.

Tendo em vista caracterizar a preparação, e determinar os restantes parâmetros para cotar as juntas, recorreu-se ao normativo ISO 9692-1, que enuncia recomendações gerais para preparação de juntas soldadas em função do processo de soldadura [15]. Da interpretação desta norma enunciam-se na Tabela 13, todos os restantes parâmetros necessários para o projeto de construção soldada da caldeira em estudo.

Tabela 13 – Critérios gerais para dimensionamento de juntas em função do processo [15]

Esp. ⁽¹⁾ (t)	Tipo de Preparação	Esquema	Ângulo	Folga (b)	Talão (c)	Prof. de Chanfro	Processo
$3 \leq t \leq 10$	Topo a topo e V, com ou sem reprise		$40 \leq \alpha \leq 60$	≤ 4	≤ 2	-	111 138 141
$3 < t \leq 40$	Topo a topo e V, com ou sem reprise		$40 \leq \alpha \leq 60$	≤ 3	≤ 2	-	111 138 141
$3 < t \leq 30$	Em T com penetração total com ou sem reprise		$35 \leq \beta \leq 60$	$1 \leq b \leq 4$	≤ 2	Conforme requerido (se preparação o em 1/2 Y)	111 138 141
$t > 16$	Bisel duplo		$35 \leq \beta \leq 60$	$1 \leq b \leq 4$	≤ 2	t/2 ou, t/3	
$t > 16$	Em J com penetração parcial		$35 \leq \beta \leq 60$	$2 \leq b \leq 4$		Conforme requerido	111 138 141
$t_1 > 4$ $t_2 > 4$	De ângulo		-	≈ 0	$= t_1$ $= t_2$	-	111 138 141

⁽¹⁾ Espessuras em milímetros

Após as condições de preparação de junta se encontrarem definidas, o passo seguinte é alocar a cada referência de soldadura criada, os detalhes de junta, dimensionando cada um deles atendendo aos requisitos anteriormente identificados. Os resultados desta atividade são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Especificação e dimensionamento de todas as juntas da caldeira de vapor

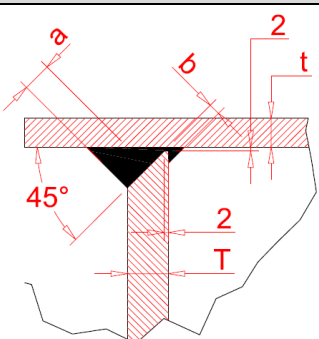
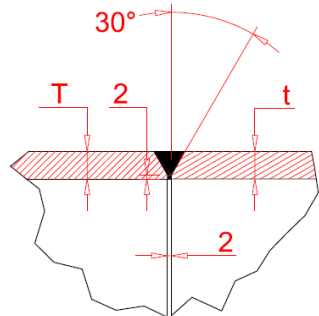
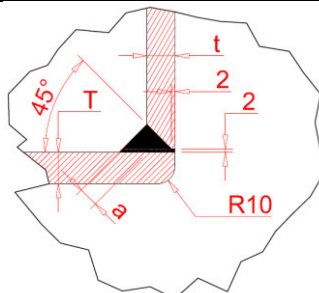
Detalhe: A	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c1, c3	$T = e_{rh} = 20$ $t = e_{rs} = 14$ $a_{min} = 5$ $b_{min} = 3$	138
	c6, c8	$T = e_{rh} = 16$ $t = e_{rs} = 14$ $a_{min} = 5$ $b_{min} = 3$	138
Detalhe: B	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c2	$T = t = e_{rs} = 14$	138
	c5	$T = t = e_{rf} = 18$	138
	11, 12	$T = t = e_{rs} = 14$	138
	13, 14	$T = t = e_{rf} = 18$	138
	15	$T = t = e_{rs} = 14$	138
	16	$T = t = e_{rt} = 14$	138
	a3	$T = 7,1$ $t = 6,3$	141 + 111
	a6.2	$T = 5,6$ $t = 4,0$	141 + 111
	a6.3	$T = 5,0$ $t = 4,0$	141 + 111
	a6.1, a6.4, a12.1, a12.2, a12.3, a12.4, a12.5, a12.6, a12.7, a12.8, a14.1, a14.2, a14.4	$T = 5,6$ $t = 5,6$	141 + 111
	a14.3	$T = 5,6$ $t = 5,0$	141 + 111
a16.1, a16.2	$T = 7,1$ $t = 7,1$	141 + 111	
Detalhe: C	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c7	$t = e_{rs} = 16$ $T = e_{rf} = 18$ $R > e_{rf} / 2 \approx 10$ $a_{min} = 3$	138

Tabela 14 - Especificação e dimensionamento de todas as juntas da caldeira de vapor (continuação)

Detalhe: D	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c9	$t = e_{rt} = 14$ $T = e_{rh1} = 16$ $a_{min} = 3$	138
Detalhe: E	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	n1, n2	$T = e_{rs} = 14$ $t = e_{rb} = 5,6$ $a_{min} = 3$ $b_{min} = 3$	141 + 111
Detalhe: F	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	n3	$T = e_{rs} = 14$ $t = e_{rb} = 7,1$ $a_{min} = 4$ $b_{min} = 4$	141 + 111
	n4, n15	$T = e_{rs} = 14$ $t = e_{rb} = 25$ $a_{min} = 7$ $b_{min} = 7$	141 + 111
	n5	$T = e_{rs} = 14$ $t = e_{rb} = 8$ $a_{min} = 4$ $b_{min} = 4$	141 + 111
Detalhe: G	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	n6, n7, n8, n9, n10, n11, n12, n13, n14	$T = e_{rs} = 14$ $t = e_{rb} = 5,6$ $a_{min} = 3$ $b_{min} = 3$	141 + 111

Tabela 14 - Especificação e dimensionamento de todas as juntas da caldeira de vapor (continuação)

Detalhe: H	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	n16.1, n16.2, n16.3	$T = e_{rs} = 14$ $t = e_{rb} = 7,1$ $Tr = e_{rp} = 14$ $a_{min} \approx 10$ $b_{min} = \approx 10$	141 + 111
Detalhe: I	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c11	$T = e_{rh} = 14$ $\text{Ø}t = d_s = 28$ $a_{m\acute{a}x} \approx 3$	111
Detalhe: J	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c12	$T = e_{rh} = 20$ $\text{Ø}t = d_s = 28$ $g \geq 10$ $a_{min} \approx 5$	111
Detalhe: K	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	19, 110	$T = e_{rs} = 14$ $t = e_g = 14$ $a_{min} \approx 10$	138

Tabela 14 - Especificação e dimensionamento de todas as juntas da caldeira de vapor (continuação)

Detalhe: L	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c13	$T = e_{rh} = 20$ $t = e_t = 3,2$ $g \geq 4$ $a_{min} \approx 3$	111
Detalhe: M	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c14	$T = e_{rh} = 16$ $t = e_t = 3,2$ $g \geq 4$	111
Detalhe: N	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c15	$T = e_{rh} = 20$ $t = e_t = 3,2$ $g \geq 4$ $a_{min} \approx 3$	111
Detalhe: O	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	f1, f2, f6.1, f7, f8, f9, f10, f11, f12, f13, f14.1	$t = e_{ta} = 5,6$ $a = a2$ $b = a1$ $a1 + a2 \geq 8$	141
	f3, f16	$t = e_{ta} = 7,1$ $a = a2$ $b = a1$ $a1 + a2 \geq 10$	141
	f5	$t = e_{ta} = 8,0$ $a = a2$ $b = a1$ $a1 + a2 \geq 11,5$	141
	f6.1, f14.2	$t = e_{ta} = 5,0$ $a = a2$ $b = a1$ $a1 + a2 \geq 7$	141

Tabela 14 - Especificação e dimensionamento de todas as juntas da caldeira de vapor (continuação)

Detalhe: P	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	17, 18	$T = t = e_{rb} = 25$	138
Detalhe: Q	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	c10	$T = e_{rh2} = 20$ $t = e_{rt} = 14$ $g \geq 17,5$ $a_{min} \approx 5$	138
	c4	$T = e_{rh2} = 20$ $t = e_{rt} = 18$ $g \geq 17,5$ $a_{min} \approx 5$	
Detalhe: R	Soldaduras ⁽²⁾	Justificação	Processo(s)
	u1, u2, u3	$T =$ maior espessura $t =$ menor espessura $a \geq \min(0,7 \cdot t, 0,7 \cdot T)$	138

⁽¹⁾ Dimensões em milímetros ⁽²⁾ As referencias atribuídas às soldaduras, seguem o proposto na Tabela 11 da secção 4.2 do presente documento.

4.4 Determinação dos parâmetros de soldabilidade

Após a identificação dos materiais de adição e processos de soldadura, e atendendo aos pressupostos já mencionados no presente documento, é necessário realizar o estudo das condições de soldabilidade das juntas a soldar. Esta etapa é sempre prévia à elaboração das especificações de procedimentos de soldadura, visto que o seu resultado das condições de soldabilidade pode influenciar as especificações (por exemplo: temperaturas pré-aquecimento, acessibilidade, limites de entrega térmica,..). As disposições da secção anterior tornam todas as juntas acessíveis, pelo que se segue a determinação da temperatura de pré-aquecimento tendo em vista obter o indicador de suscetibilidade à fissuração por hidrogénio. O estudo inicia-se pela condição mais desfavorável no que à maior espessura combinada da junta diz respeito, já que todos os consumíveis são de muito baixo hidrogénio difusível, nomeadamente menor ou igual a 5 ml/100 g de metal depositado (escala D – Tabela 18 do Anexo 2). Na caldeira, a junta mais desfavorável é a ligação dos postigos à virola exterior, pelo que através da composição química do material base (Tabela 15) e Equação 14 do Anexo 2 se obtém um carbono equivalente de 0,35.

Tabela 15 - Composição química especificada do material base

	Classe	C	Si	Mn	P	S	Al _{Total}	N
P	P265GH	0,13	0,23	0,107	0,010	0,002	0,033	0,005
		Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti	V
		0,11	0,03	0,005	≤0,014	≤0,16	≤0,05	≤0,005

Considerando a espessura combinada de 64 mm em causa neste equipamento (Equação 15), conclui-se que não existe necessidade de pré-aquecimento por consulta da Figura 8, baseada nos gráficos C.2 da EN1011, desde que seja garantida uma Entrega Térmica acima de aproximadamente 0,75 kJ/mm.

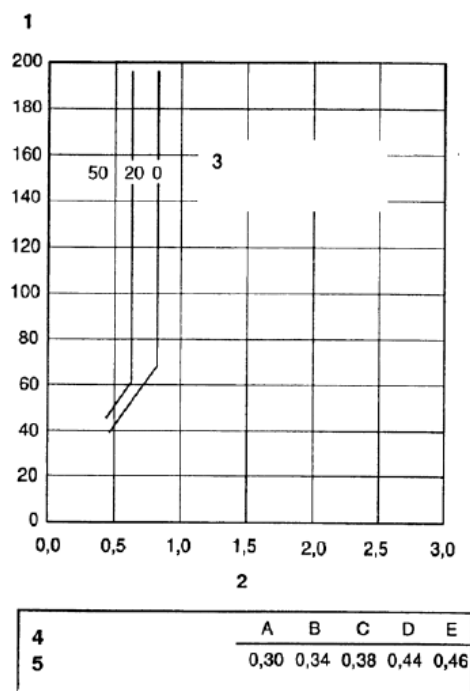


Figura 8 - Condições para soldadura de aços com recurso ao cálculo do carbono equivalente [16]

Onde:

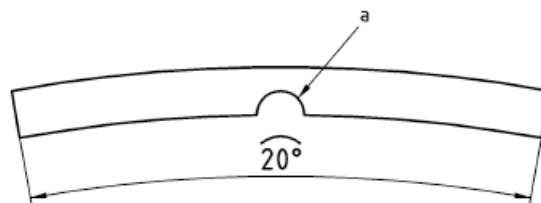
- 1 Espessura combinada, mm
- 2 Entrega térmica, kJ/mm
- 3 Temperatura mínima de pré-aquecimento, °C
- 4 Escala de hidrogénio
- 5 Carbono equivalente

Apesar de no caso em estudo não existir necessidade de pré-aquecimento, quando exista essa necessidade, essa condição deve fazer parte integrante das especificações de procedimentos de soldadura preliminares de base à qualificação de procedimentos de soldadura.

4.5 Determinação dos critérios de fabrico

Às condições necessárias ao fabrico devem adicionar-se todos os restantes requisitos especificados no código de construção, relativamente a peças individuais ou conjuntos, independentemente do processo de fabrico que lhe tenha dado origem. Da análise do normativo vem:

A tolerância de retitude da virola do corpo não deverá exceder 0,3% relativamente ao seu comprimento total ou, no máximo, cinco metros. A medição deve ser realizada fora da região das soldaduras. As irregularidades de perfil ao nível da circularidade, medidas através de um medidor de *peaking* de 20° conforme Figura 9, não podem exceder 2% do comprimento total do medidor padrão.



^a Corte para não interferir com as soldaduras

Figura 9 - Medidor padrão para medição de irregularidades de superfície [14]

Devem ser efetuadas duas medições conforme Figura 10, uma de cada lado da soldadura de forma a determinar P1 e P2.

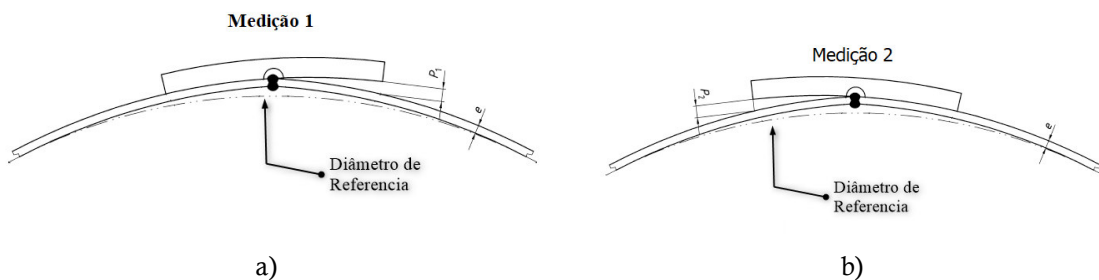


Figura 10 - Método de medição do *peaking* à esquerda do cordão a) [14] e à direita do cordão b) [14]

O valor máximo de *peaking* a considerar é o menor dos valores entre 0,25 (P1 + P2), ou P3. O valor de P3, é obtido conforme Figura 11.

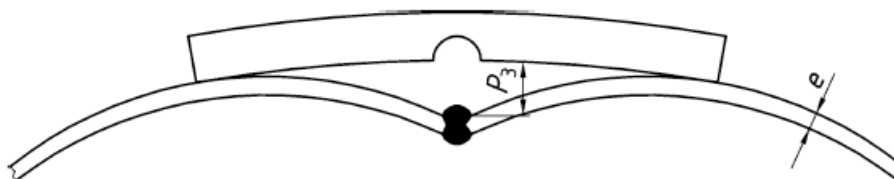


Figura 11 - Método de medição do peaking negativo [14]

O desvio de ovalização é calculado de acordo com a Equação 22 [14].

$$u = \frac{2 \cdot (d_{m\acute{a}x} - d_{m\acute{i}n})}{d_{m\acute{a}x} + d_{m\acute{i}n}} \cdot 100 \quad (\%) \tag{22}$$

Onde

- u* Ovalização
- d_{máx}* Diâmetro médio máximo medido
- d_{mín}* Diâmetro médio mínimo medido

Critério de aceitação: *u* ≤ 1,5 % [14]

Em soldaduras longitudinais, o desalinhamento máximo permitido relativo ao plano da meia espessura das chapas, segue o especificado na Tabela 16 de acordo com a Figura 12.

Tabela 16 - Desalinhamento máximo permitido para soldaduras longitudinais [14]

Espessura da chapa mais fina <i>e</i> (mm)	Desalinhamento Máximo <i>d</i> 1 (mm)
<i>e</i> > 10	<i>e</i> / 10

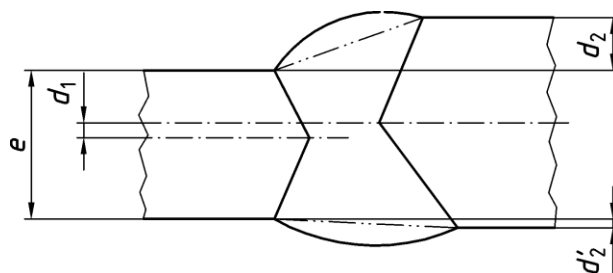


Figura 12 - Representação dos desalinhamentos possíveis de ocorrer [14]

Onde

- e* Espessura da chapa mais fina
- d*1 Desalinhamento máximo
- d*2 Desalinhamento máximo do plano exterior da chapa
- d*2' Desalinhamento máximo do plano interior da chapa

Por seu turno, os desalinhamentos máximos permitidos relativamente aos planos interior e exterior das chapas são os que apresentam na Tabela 17.

Tabela 17 - Desalinhamentos máximos permitidos quanto aos planos da chapa [14]

Soldaduras	Espessura da chapa mais fina e (mm)	Desalinhamento Máximo d_2 ou d'_2 (mm)
Circunferenciais	$e \leq 20$	$e/4$
	$e > 20$	5
Longitudinais	$e \leq 12$	$e/4$
	$e > 12$	3

De acordo com o referencial normativo EN 12953-4, necessidades de tratamentos térmicos só se verificam para espessuras acima de 35 mm [14], pelo que tendo em conta o equipamento em questão, não são necessários tratamentos térmicos após soldadura.

4.6 Determinação dos requisitos de inspeção

Atendendo ao coeficiente de junta fornecido pelo projetista (0,85), e a tipologia e localização das juntas, a extensão dos ensaios não destrutivos obedece adicionalmente a um enquadramento que depende da condição de ensaio hidrostático, conforme se verifique [17]:

$$P_t \geq 1,85 \cdot PS \quad (23)$$

Ou,

$$P_t < 1,85 \cdot PS \quad (24)$$

Onde

P_t É a pressão de ensaio hidrostático (MPa)

PS Pressão de Cálculo (MPa)

Por outro lado, temos que P_t é o maior dos valores por via da aplicação das equações 25 e 26 [17].

$$P_t = 1,25 \cdot PS \frac{R_{p0,2}(20^\circ C)}{R_{p0,2}(T_c)} \quad (25)$$

$$P_t = 1,43 \cdot PS \quad (26)$$

Onde:

$R_{p0,2}(20^\circ C)$ Tensão limite convencional de proporcionalidade à temperatura ambiente (MPa)

$R_{p0,2}(T_c)$ Tensão limite convencional de proporcionalidade à temperatura de cálculo (MPa)

T_c Temperatura de cálculo ($^\circ C$)

Da análise dos dados fornecidos vem:

$$R_{p0,2}(20\text{ }^{\circ}\text{C}) = 265\text{ MPa}$$

$$R_{p0,2}(T_c) = 206,8\text{ MPa} \quad (\text{Obtido por interpolação na Tabela 16 -Anexo 2})$$

$$T_c = 195\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$PS = 1,3\text{ MPa}$$

Pela aplicação da equação 25 obtemos $P_t = 2,08\text{ MPa}$, e pela equação 26 obtemos $P_t = 1,86\text{ MPa}$.

Logo, como o maior dos valores anteriores ($P_t = 2,08\text{ MPa}$) verifica a condição expressa pela equação 24 ($P_t < 2,41\text{ MPa}$), a extensão de ensaios não destrutivos é a que se apresenta na Tabela 18.

Tabela 18 - Extensão de ensaios não destrutivos [17]

Componente	Soldadura	Localização	END	Obs	Extensão %
			$P_t^{(1)} < 1,85 \cdot PS$		
Virola do corpo	Longitudinal	Corpo	RT ou UT	a, b	10
	Circunferencial	Entre secções	RT ou UT	a, b, c	10
Tampos	Circunferencial em T	Entre corpo e tampos	UT	b, f	10
Tubo de fogo	Longitudinal	Corpo	RT ou UT	b	10
	Circunferencial	Entre secções	RT ou UT	a, b	10
	Circunferencial em T	No tampo do corpo	UT	b, e, f	25
	Circunferencial em T	No tampo da câmara de inversão	RT ou UT	b	10
Câmara de inversão	Longitudinal	Corpo	RT ou UT	b, e, f	10
	Circunferencial em T	No tampo da câmara de inversão	RT ou UT	b, e, f	10
Tubo de acesso à câmara de inversão	Longitudinal	Corpo	RT ou UT	b	10
	Circunferencial em T	No tampo da câmara de inversão	UT	b, e, f	10
Ancoragens e estais	Canto em T ou outras	Tampo exterior e/ou virola do corpo	PT ou MT	g	100
Aberturas	Circunferencial em T	Virola do corpo	PT ou MT	-	10

⁽¹⁾ P_t = Pressão de ensaio hidrostático; PS = Pressão de Cálculo

Onde

- a A extensão mínima de ensaio são 200mm e tem de incluir interseções de soldaduras longitudinais e circunferenciais.
- b A secção das soldaduras examinadas tem de ser feita de forma aleatória.
- c Para equipamentos com tampos e camaras de inversão suportados por estais ou ancoragens, deve aplicar-se os ensaios a 10% da extensão das soldaduras circunferenciais. As interseções têm de ser incluídas na extensão de ensaio.
- e Quando não seja possível aplicar o ensaio por razões de limitação na aplicação da técnica a execução deve ser inspecionada visualmente nas fases de preparação, pingagem, passe

- de raiz e restantes, acompanhando a inspeção visual com líquidos penetrantes e/ou partículas magnéticas.
- f A localização da parte inspecionada tem de ser fisicamente marcada no equipamento e registada convenientemente.
- g Quando se tornar impraticável aplicar ensaios por partículas magnéticas ou líquidos penetrantes, dever-se-á aplicar uma técnica alternativa igualmente válida.

Acresce ao indicado anteriormente, inspeção visual de acordo com a ISO 5817-B, a 100% das soldaduras de todo o equipamento.

A quantidade e localização de chapas de testemunho que devem ser fabricadas e ensaiadas no âmbito da construção, são também função do coeficiente de junta, conforme se acordo com a Tabela 19.

Tabela 19 - Quantidade e localização das chapas de testemunho [17]

Coeficiente de Junta	Localização	Quantidade
0,85	Soldadura longitudinal do corpo	1 corpo de prova por cada 100 m de soldadura

Caso o processo de soldadura selecionado para as soldaduras longitudinais seja diferente das circunferenciais, é requerido executar um corpo de prova para as soldaduras longitudinais [17]. As dimensões dos corpos de prova devem permitir realizar os ensaios previstos na Tabela 20, precedidos de inspeção visual a 100% da junta e dos restantes ensaios não destrutivos que se apliquem aquela junta.

Tabela 20 - Ensaios destrutivos aplicáveis às chapas de testemunho [17]

Espessura da Virola (e)	Ensaios aplicáveis	Quantidade	Corpos de prova de acordo com	Procedimento de Ensaio
12 < e ≤ 35	Impacto	3	ISO 9616	ISO 148-1
	Macrografia	1	ISO 17639	

A montagem das chapas de testemunho deve ser feita no prolongamento das soldaduras longitudinais de forma a que as condições de execução sejam as mesmas que foram utilizadas na restante junta pertencente ao equipamento. A condição de aceitação para os ensaios de impacto para o caso em estudo, é a garantia da absorção de energia, no mínimo de valor igual à do material de base, ou seja, 27 J a -20 °C. Quanto à inspeção visual e ensaio macrográfico, devem atender aos requisitos da Tabela 21.

Tabela 21 - Níveis de aceitação e limites para imperfeições [17]

Imperfeição N°. (ISO 6520-1)	Tipo de Imperfeição	Critério de Aceitação	Limites para as imperfeições
100X	Fissuras	ISO 5817: B	Não permitido
201X	Poros	ISO 12953-5	Superficial: Diâmetro ≤ 2 mm Profundidade ≤ 1 mm
202X	Cavidade de retração (Chocho)		Se: -Não ocorrer em regiões de paragens pu recomeços -Não ocorrer sistematicamente na mesma soldadura

Tabela 21 - Níveis de aceitação e limites para imperfeições [17] (continuação)

Imperfeição N°. (ISO 6520-1)	Tipo de Imperfeição	Critério de Aceitação	Limites para as imperfeições
301X	Inclusões de escória	ISO 12953-5	Não permitido quando ocorram à superfície
302X	Inclusões de fluxo	ISO 12953-5	
303X	Inclusões de óxido	ISO 12953-5	
304X	Inclusões metálicas	ISO 12953-5	
401X	Falta de fusão	ISO 5817: B	Não permitido
402	Falta de penetração	ISO 5817: B	Não permitido (quando requerida penetração total)
5011	Bordos queimados contínuos	ISO 5817: B	Profundidade máxima $\leq 0,5$ mm
5012	Bordos queimados intermitentes		
502	Excesso de metal fundido	ISO 5817: C	$h \leq 1 + 0,15 \cdot b$, máx. 7 mm h: excesso de metal, em mm b: largura da soldadura, em mm
504	Excesso de penetração	ISO 5817: C	$h \leq 1 + 0,6 \cdot b$, máx. 4 mm h: excesso de penetração, em mm b: largura da soldadura, em mm
506	Desbordo ou sobreposição	ISO 5817: B	Não permitido
511	Falta de enchimento	ISO 5817: C	Imperfeições longas (> 25 mm): Não permitido Imperfeições curtas (≤ 25 mm): $h \leq 0,1 \cdot e$, máx. 1,0 mm h: profundidade, em mm e: espessura do material base, em mm
515	Concavidade na raiz	ISO 5817: C	$h \leq 0,1$, em mm h: profundidade, em mm
516	Porosidade da raiz	ISO 12953-5	Não permitido
600	Imperfeições que não estão incluídas nos grupos 1XXX a 5XXX	ISO 12953-5	Imperfeições superficiais devem ser removidas com meios apropriados
606	Redução de espessura por meios mecânicos	ISO 12953-5	Não permitido

Para as imperfeições não listadas é comumente levada a cabo a aceitação, de acordo com a ISO 5817 nível B. Os critérios referidos são igualmente válidos para a inspeção visual, a aplicar a todo o equipamento.

4.7 Especificação de procedimentos de soldadura preliminares

Como já referido, até à obtenção das especificações de procedimentos de soldadura qualificadas, é necessário desenvolver as especificações de procedimentos de soldadura preliminares que sirvam de base aos exames de qualificação de procedimentos de soldadura. Desta forma, estando já completo o exercício de identificação de todas as juntas e sua caracterização, segue-se o levantamento de necessidades de

qualificação através da metodologia proposta pelo autor no Anexo 2. A título demonstrativo, apresenta-se na Tabela 22 o levantamento efetuado às principais soldaduras longitudinais do equipamento. O remanescente deste trabalho apresenta-se no Anexo 3

Tabela 22 - Levantamento de necessidades de qualificação

		Ref. da Soldadura									
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10
Tipo de Junta		BW	BW	BW	BW	BW	BW	BW	BW	BW	BW
Processo(s)		138	138	138	138	138	138	138	138	138	138
Mat. Base (Qualidade e Grupo)	n	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)
	n+1	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)
Forma do Produto	n	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	n+1	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Espessuras	n	14	14	18	18	14	14	25	25	14	14
	n+1	14	14	18	18	14	14	25	25	14	14
Diâmetro		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grupo de Mat. Adição	n	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
	n+1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
Posição		PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA
Detalhes		bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs

Atendendo à anterior colheita de dados, o objetivo passa por determinar o número mínimo de provas de qualificação de procedimentos de soldadura e soldadores, que devem ser levadas a cabo, face aos domínios de validade que resultarão da aplicação das normas de qualificação ISO 15614 e ISO 9606, respetivamente. Desta forma, e como ponto prévio à elaboração das especificações de procedimento de soldadura preliminares, o autor elencou o número mínimo de provas de qualificação de procedimentos de soldadura que consta na Tabela 23.

Tabela 23 - Especificação das provas de procedimentos de soldadura

C.P. N ^o (1)	Material Base	Forma do Produto (2)	Processo de Soldadura	Material de Adição	Tipo de Junta	t ⁽³⁾ (mm) a ⁽⁴⁾ (mm)	Ø (mm)	Pos ⁽⁵⁾	Det ⁽⁶⁾	pEPS
1 2	EN 10025- 2: S355J2+N	P	138	EN ISO 17632- A: T 42 2 M M 2 H5	BW	20	-	PC PF	ss nb ou bs	pEPS 01 pEPS 02
3	EN 10028- 2: P265GH + EN 10216- 2: P265GH	P+T	141 + 111	EN ISO 636-A: W 46 4 4Si1	Picagem	12 7,62	88,9	PH	ss nb ou bs	pEPS 03

Tabela - Especificação das provas de procedimentos de soldadura

C.P. N ^o (1)	Material Base	Forma do Produto (2)	Processo de Soldadura	Material de Adição	Tipo de Junta	t ⁽³⁾ (mm) a ⁽⁴⁾ (mm)	Ø (mm)	Pos ⁽⁵⁾	Det ⁽⁶⁾	pEPS
4	EN 10028-2: P265GH EN 10025-2: S275JR	P+T	111	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	FW	30 32 a>3	32 32	PH	ml	pEPS 04
5	EN 10028-2: P265GH + EN 10216-2: P235GH	P+T	111	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	FW	10 5 a>3	26,9	PH	ml	pEPS 05
6	EN 10216-2: P235GH	T	141	EN ISO 636-A: W 46 4 4Si1	BW	8,0	80,5	H-L045	ss nb	pEPS 06
7 8	EN 10025-2: S355J2+N	P	111	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	BW	10	-	PC PF	ss nb	pEPS 07 pEPS 08

(1) C.P.: Corpo de Prova; (2) P: Chapa; T: Tubo; (3) t: Espessura; (4) a: garganta; (5) t: Posição(ões); (6) t: Detalhes de execução;

As condições da(s) prova(s) de qualificação de procedimentos de soldadura foram ser integralmente detalhadas nas pEPS - Especificações de Soldadura Preliminares, e ensaiadas no terreno, por forma a reunir as restantes variáveis essenciais que determinam a envolvente da qualificação. O registo das condições de prova, que são o resultado de um extenso treino junto dos soldadores, apresentam-se a seguir, em convivência com cada número de prova e pEPS respetiva que consta na Tabela 23 acima. A título demonstrativo apresenta-se adiante a pEPS N^o.01, podendo as restantes serem encontradas em Anexo 4

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/EPS Nº.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	pEPS Nº. 01	15609-1	A definir	Qualificação de acordo com: EN ISO15614-1			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
EN 10025-2	P: S355J2+N	1.2	20	-			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Topo a Topo - BW		ID SOLDADURA(S)	-			
Ângulo de Chanfro	60° ± 2	Talão (mm)	2 ± 1	Folga (mm)	2 ± 1	Garganta (mm)	-
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ		OBSERVAÇÕES			
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos		-			
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO		PROCEDIMENTO			
N/A se, T > 10 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	Lápis Térmico		N/A			
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	2, 3, 7, 8, 9 (Enchimento)	4, 5, 6, 10, 11, 12 (Passes de Vista)				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	138 - S	138 - S	138 - S				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5				
MARCA COMERCIAL	ESAB OK 14.13	ESAB OK 14.13	ESAB OK 14.13				
DIÂMETRO	1,2	1,2	1,2				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	ISO 14175-M20	ISO 14175-M20	ISO 14175-M20				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	16 - 18	16 - 18	16 - 18				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-	-				
POSIÇÃO	PC	PC	PC				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A empurrar/Horizontal	A empurrar/Horizontal	A empurrar/Horizontal				
INTENSIDADE (A)	190 - 231	214 - 260	220 - 269				
TENSÃO (V)	23,8 - 29,2	24,0 - 29,4	24,3 - 29,7				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	200 - 245	315 - 385	498 - 608				
ENTREGA TÉRMICA / (kj/mm)	1,08 - 1,32	0,78 - 0,96	0,52 - 0,63				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EP	DC EP	DC EP				
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	8,0 - 9,5	8,0 - 9,5	8,0 - 9,5				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	15,9	15,9	15,9				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	Máx. 25	Máx. 25	Máx. 25				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·Ø _{no}	Corrido / <1,5·Ø _{no}	Corrido / <1,5·Ø _{no}				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

4.8 Qualificação de procedimentos de soldadura

A seleção das provas a realizar atende a algumas considerações tomadas pelo autor. Procurou-se obter a gama mais abrangente de qualificação face aos materiais disponíveis à data da necessidade de realizar qualificações. Desde logo o cuidado de obter, dentro de todas as variáveis essenciais, o maior domínio de validade expectável (ver Tabela 24). Salienta-se a seleção efetuada ao nível do agrupamento de materiais.

De acordo com a ISO 15614-1, execução de procedimentos de soldadura em materiais do grupo 1.2 (ISO/TR 15608) qualifica materiais do próprio grupo e do grupo 1.1, bem como as ligações entre ambos. Desta forma e sempre que possível, recorreu-se à condição mais exigente de prova (ainda que com um maior risco e implicações ao nível do controlo da execução) no que diz respeito às variáveis essenciais, garantindo sempre que os requisitos técnicos se coadunassem com as especificidades da norma de produto e legislação aplicável à construção de caldeiras.

Tabela 24 - Domínio de validade previsível para qualificação de procedimentos de soldadura

CORPO DE PROVA N.º 1	Forma do Produto	P, T	Material de Adição	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5
	Processo de Soldadura	138	Regime de Transferência	Globular e Spray
	Tipo de Junta	BW, FW	Fluxo ou Gás	ISO 14175-M20
	Material Base	$\sigma_{ced} \leq 355$ MPa	Tipo de Corrente	DC EP
	Grupo de Material Base	1.1-1.1; 1.2-1.1; 1.2-1.1; 1.2-1.2	Posições de Soldadura	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045
	Espessura do Material, t (mm)	BW: $10 \leq t \leq 40$ FW: $3,0 \leq t \leq 40$ a: sem restrições	Pré-Aquecimento	Não Aplicável
	Espessura do Mat. Depositado, t (mm)	-	Tratamento Térmico	Não Aplicável
	Diâmetro Exterior (mm)	>500, fixo >150, a rodar PA, PC, PF	Entrega Térmica	A determinar após qualificação
CORPO DE PROVA N.º 2	Forma do Produto	P, T	Material de Adição	EN ISO 636-A: W 46 4 4Si1 EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5
	Processo de Soldadura	141 + 111	Regime de Transferência	-
	Tipo de Junta	Picagens com ângulo $\alpha \geq 22^\circ$	Fluxo ou Gás	ISO 14175-I1
	Material Base	$\sigma_{ced} \leq 265$ MPa	Tipo de Corrente	DC EN DC EP
	Grupo de Material Base	1.1-1.1	Posições de Soldadura	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045
	Espessura do Material, t (mm)	P: $3,0 \leq t \leq 24,0$ T: $3,0 \leq t \leq 15,24$	Pré-Aquecimento	Não Aplicável
	Espessura do Mat. Depositado, t (mm)	141: Máx. 10 111: Máx. 14	Tratamento Térmico	Não Aplicável
	Diâmetro Exterior (mm)	$\geq 44,5$	Entrega Térmica	A determinar após qualificação

Tabela 24 - Domínio de validade previsível para qualificação de procedimentos de soldadura (continuação)

CORPO DE PROVA N.º 3	Forma do Produto	P, T	Material de Adição	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5
	Processo de Soldadura	111	Regime de Transferência	-
	Tipo de Junta	FW	Fluxo ou Gás	Não Aplicável
	Material Base	$\sigma_{ced} \leq 275$ MPa	Tipo de Corrente	DC EP
	Grupo de Material Base	1.1-1.1	Posições de Soldadura	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045
	Espessura do Material (mm)	P: $\geq 5,0$ T: $\geq 8,0$ a: sem restrições	Pré-Aquecimento	Não Aplicável
	Espessura do Mat. Depositado (mm)	-	Tratamento Térmico	Não Aplicável
	Diâmetro Exterior (mm)	$\geq 16,0$	Entrega Térmica	A determinar após qualificação
CORPO DE PROVA N.º 4	Forma do Produto	P, T	Material de Adição	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5
	Processo de Soldadura	111	Regime de Transferência	-
	Tipo de Junta	FW	Fluxo ou Gás	Não Aplicável
	Material Base	$\sigma_{ced} \leq 275$ MPa	Tipo de Corrente	DC EP
	Grupo de Material Base	1.1-1.1	Posições de Soldadura	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045
	Espessura do Material (mm)	P: $\geq 10,0$ T: $2,5 \leq t \leq 10,0$ a: sem restrições	Pré-Aquecimento	Não Aplicável
	Espessura do Mat. Depositado (mm)	-	Tratamento Térmico	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045
	Diâmetro Exterior (mm)	$\geq 26,9$	Entrega Térmica	A determinar após qualificação
CORPO DE PROVA N.º 5	Forma do Produto	P, T	Material de Adição	EN ISO 636-A: W 46 4 4Si1
	Processo de Soldadura	141	Regime de Transferência	-
	Tipo de Junta	BW, FW	Fluxo ou Gás	ISO 14175-I1
	Material Base	1.1-1.1	Tipo de Corrente	DC EN
	Grupo de Material Base	$\sigma_{ced} \leq 235$ MPa	Posições de Soldadura	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045
	Espessura do Material (mm)	BW: $3,0 \leq t \leq 16,0$ FW: $4,0 \leq t \leq 16$ a: sem restrições	Pré-Aquecimento	Não Aplicável
	Espessura do Mat. Depositado (mm)	-	Tratamento Térmico	Não Aplicável
	Diâmetro Exterior (mm)	$\geq 41,2$	Entrega Térmica	A determinar após qualificação

Tabela 24 - Domínio de validade previsível para qualificação de procedimentos de soldadura (continuação)

CORPO DE PROVA N.º 6	Forma do Produto	P, T	Material de Adição	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5
	Processo de Soldadura	111	Régime de Transferência	-
	Tipo de Junta	BW, FW	Fluxo ou Gás	Não Aplicável
	Material Base	$\sigma_{ced} \leq 355$ MPa	Tipo de Corrente	DC EP
	Grupo de Material Base	1.1-1.1; 1.2-1.1; 1.2-1.1; 1.2-1.2	Posições de Soldadura	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045
	Espessura do Material (mm)	BW: $3,0 \leq t \leq 20$ FW: $3,0 \leq t \leq 20$ a: sem restrições	Pré-Aquecimento	Não Aplicável
	Espessura do Mat. Depositado (mm)	-	Tratamento Térmico	Não Aplicável
	Diâmetro Exterior (mm)	>500, fixo >150, a rodar PA, PC, PF	Entrega Térmica	A determinar após qualificação

Desta forma podemos comprovar que, se os resultados dos ensaios forem aceitáveis, todas as necessidades de qualificação de procedimentos de soldadura se encontram solucionadas.

A prova n.º.6 anteriormente designada, em boa verdade não foi pensada para satisfazer uma necessidade objetiva de gama de aprovação em sede de procedimento de soldadura para construção da caldeira. Como as picagens na caldeira têm ângulos inferiores a 60° não foi possível recorrer a uma qualificação topo a topo para validar todas as propriedades mecânicas, pelo que teve de se optar por realizar especificamente procedimentos de soldadura cujo corpo de prova é uma picagem. Como já referido anteriormente, as soldaduras com corpos de prova representativos de picagens (chapa + tubo) não estão diretamente explicitadas na ISO 15614-1. Desta forma, o procedimento passa por recorrer à ISO 15613 para definir as condições de prova, e posteriormente à ISO 15614-1 para encontrar os domínios de validade das variáveis essenciais do procedimento de soldadura. O que é entendido como picagem, à luz da norma de qualificação de procedimentos de soldadura é a ligação entre dois tubos. O que não for desta configuração segue o disposto para o nível dois da ISO 15614-1, remetendo à ISO 15613 no que diz respeito às dimensões dos corpos de prova.

No entanto, esta configuração de junta, impossibilita realizar ensaios que permitam aferir das propriedades mecânicas na aplicação do(s) processo(s) de soldadura, e consumíveis utilizados. Confrontado com a necessidade de determinar essas propriedades, o autor propõe realizar uma qualificação cuja configuração permita realizar ensaios e retirar todas as propriedades mecânicas necessárias, na utilização do processo 111 e material de adição selecionado. Sendo as picagens fabricadas com um procedimento multi-processo (141+111), não bastaria obter propriedades mecânicas do processo 111, mas também adicionalmente do processo 141. No entanto, tal não é necessário pois a prova n.º.5 permite-nos obter e validar todas as propriedades requeridas após soldadura com o mesmo processo e materiais. Face ao que foi anteriormente exposto, e atendendo ao número de ensaios requeridos apresentados na Tabela 26 do Anexo 2, definiram-se os ensaios identificados na Tabela 25 que se segue, baseada nos requisitos da ISO 15614-1.

Tabela 25 - Definição dos ensaios a realizar – Corpos de Prova 1 a 6

Identificação da Prova	pEPS	Ensaio Destrutivo	Ensaio não destrutivo
C.P. 1	pEPS 01	Dureza Macrografia	Inspeção Visual (VT) Líquidos Penetrantes (PT) Ultrassons (UT)
	pEPS 02	Tração Dobragem Impactos	
C.P. 2	pEPS 03	Macrografia	Inspeção Visual (VT) Líquidos Penetrantes (PT) Radiografia (RX)
C.P. 3	pEPS 04	Macrografia	Inspeção Visual (VT) Partículas Magnéticas (MT)
C.P. 4	pEPS 05	Macrografia	Inspeção Visual (VT) Partículas Magnéticas (MT) Radiografia (RX)
C.P. 5	pEPS 06	Tração Dobragem Impactos Macrografia	Inspeção Visual (VT) Líquidos Penetrantes (PT) Radiografia (RX)
C.P. 6	pEPS 07	Dureza Macrografia	Inspeção Visual (VT) Líquidos Penetrantes (PT) Radiografia (RX)
	pEPS 08	Tração Dobragem Impactos	

Após determinação do conjunto de ensaios aplicáveis, nomeadamente ensaios não destrutivos obtiveram-se os resultados que se apresentam adiante, nomeadamente por cada prova realizada, e natureza do ensaio (Tabela 26)

Tabela 26 - Resultados dos ensaios não destrutivos

Identificação da Prova	Ensaio não destrutivo	Norma de Ensaio	Norma de Aceitação	Resultado
C.P. 1	Inspeção Visual (VT)	ISO17637	ISO5817-B	Aceitável
	Líquidos Penetrantes (PT)	ISO3452-1	ISO23277-2X	Aceitável
	Ultrassons (UT)	ISO17640	ISO11666-2X	Aceitável
C.P. 2	Inspeção Visual (VT)	ISO17637	ISO5817-B	Aceitável
	Líquidos Penetrantes (PT)	ISO3452-1	ISO23277-2X	Aceitável
	Radiografia (RX)	ISO17636-1	ISO10675-1	Aceitável

Tabela 26 - Resultados dos ensaios não destrutivos (continuação)

Identificação da Prova	Ensaio não destrutivo	Norma de Ensaio	Norma de Aceitação	Resultado
C.P. 3	Inspeção Visual (VT)	ISO17637	ISO5817-B	Aceitável
	Partículas Magnéticas (MT)	ISO17636	ISO23278-2X	Aceitável
C.P. 4	Inspeção Visual (VT)	ISO17637	ISO5817-B	Aceitável
	Partículas Magnéticas (MT)	ISO17636	ISO23278-2X	Aceitável
	Radiografia (RX)	ISO17636-1	ISO10675-1	Aceitável
C.P. 5	Inspeção Visual (VT)	ISO17637	ISO5817-B	Aceitável
	Líquidos Penetrantes (PT)	ISO3452-1	ISO23277-2X	Aceitável
	Radiografia (RX)	ISO17636-1	ISO10675-1	Aceitável
C.P. 6	Inspeção Visual (VT)	ISO17637	ISO5817-B	Aceitável
	Líquidos Penetrantes (PT)	ISO3452-1	ISO23277-2X	Aceitável
	Radiografia (RX)	ISO17636-1	ISO10675-1	Aceitável

Quanto aos ensaios destrutivos, os resultados obtidos apresentam-se nas Tabelas 27 a 46

Tabela 27 - Resultados dos Ensaio de Tração pEPS 02

Provede de Ensaio				ReH (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	Z (%)	Local da Rotura
Ref.	Tipo	Dimensões (mm)	Temperatura (°C)	Valor Requerido				
				-	470-630	-	-	
T1	Prismático/Transversal	19,4 x 25,1	21	-	548	-	-	Material Base
T2	Prismático/Transversal	19,3 x 25,0	21	-	559	-	-	Material Base
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável						
Procedimento de Ensaio		ISO 6892-1:2019						
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017						

Tabela 28 - Resultados dos Ensaios de Tração pEPS 06

Provetes de Ensaio				R _{eH} (MPa)	R _m (MPa)	A (%)	Z (%)	Local da Rotura
Ref.	Tipo	Dimensões (mm)	Temperatura (°C)	Valor Requerido				
				-	360-500	-	-	
T1	Prismático/Transversal	7,8 x 12,0	21	-	412	-	-	Material Base
T2	Prismático/Transversal	7,8 x 12,0	21	-	402	-	-	Material Base
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável						
Procedimento de Ensaio		ISO 6892-1:2019						
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017						

Tabela 29 - Resultados dos Ensaios de Tração pEPS 08

Provetes de Ensaio				R _{eH} (MPa)	R _m (MPa)	A (%)	Z (%)	Local da Rotura
Ref.	Tipo	Dimensões (mm)	Temperatura (°C)	Valor Requerido				
				-	470-630	-	-	
T1	Prismático/Transversal	7,8 x 12,0	21	-	534	-	-	Material Base
T2	Prismático/Transversal	7,8 x 12,0	21	-	528	-	-	Material Base
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável						
Procedimento de Ensaio		ISO 6892-1:2019						
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017						

Tabela 30 - Resultados dos ensaios de Dobragem pEPS 02

Provetes de Ensaio		Diâmetro do Punção (mm)	Direção da dobragem/ Dimensões (mm)			Temperatura (°C)	Ângulo de dobragem (°)
Ref.	Tipo		Face	Raiz	Lateral		
DL1	Transversal/Prismático	40	-	-	10,0 x 20,2	22,1	180
DL2	Transversal/Prismático	40	-	-	10,0 x 20,2	22,1	180
DL3	Transversal/Prismático	40	-	-	10,0 x 20,3	22,1	180
DL4	Transversal/Prismático	40	-	-	10,1 x 20,3	22,1	180
Procedimento de Ensaio		ISO 5713:2009					
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017					
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável					

Tabela 31 - Resultados dos ensaios de Dobragem pEPS 06

Provete de Ensaio		Diâmetro do Punção (mm)	Direção da dobragem/ Dimensões (mm)			Temperatura (°C)	Ângulo de dobragem (°)
Ref.	Tipo		Face	Raiz	Lateral		
DF1	Transversal/Prismático	25	6,7 x 12,0	-	-	22,0	180
DR1	Transversal/Prismático	25	-	6,7 x 12,0	-	22,0	180
DR2	Transversal/Prismático	25	6,7 x 12,0	-	-	22,0	180
DF4	Transversal/Prismático	25	-	6,7 x 12,0	-	22,0	180
Procedimento de Ensaio		ISO 5713:2009					
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017					
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável					

Tabela 32 - Resultados dos ensaios de Dobragem pEPS 08

Provete de Ensaio		Diâmetro do Punção (mm)	Direção da dobragem/ Dimensões (mm)			Temperatura (°C)	Ângulo de dobragem (°)
Ref.	Tipo		Face	Raiz	Lateral		
DF1	Transversal/Prismático	25	10,0x40,8	-	-	23,5	180
DR1	Transversal/Prismático	25	-	10,0x40,8	-	23,5	180
DF2	Transversal/Prismático	25	10,0x41,0	-	-	23,5	180
DF2	Transversal/Prismático	25	-	9,9x41,0	-	23,5	180
Procedimento de Ensaio		ISO 5713:2009					
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017					
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável					

Tabela 33 - Resultados dos ensaios de impacto pEPS 02

Provete de Ensaio				Energia Absorvida (J)			Temperatura (°C)
Ref	Entalhe	Localização	Dimensões	Valor Obtido	Valor Médio	Valor Requerido	
CH1	ISO V	ZAC	10 x 55,1 x 10	56	63	27	-20
CH2	ISO V	ZAC	10 x 55,1 x 10	68			
CH3	ISO V	ZAC	10 x 55,1 x 10	64			
CH4	ISO V	MF	10 x 55,1 x 10	78	69		
CH5	ISO V	MF	10 x 55,1 x 10	63			
CH6	ISO V	MF	10 x 55,1 x 10	65			
Procedimento de Ensaio		ISO 148-1:2010					
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017 + Diretiva 2014/68/EU					
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável					

Tabela 34 - Resultados dos ensaios de impacto pEPS 06

Provede de Ensaio				Energia Absorvida (J)			Temperatura (°C)
Ref	Entalhe	Localização	Dimensões	Valor Obtido	Valor Médio	Valor Requerido	
CH1	ISO V	ZAC	5 x 55,1 x 10	80	82	27	-20
CH2	ISO V	ZAC	5 x 55,1 x 10	84			
CH3	ISO V	ZAC	5 x 55,0 x 10	83			
CH4	ISO V	MF	5 x 55,1 x 10	32	44		
CH5	ISO V	MF	5 x 55,1 x 10	30			
CH6	ISO V	MF	5 x 55,1 x 10	70			
Procedimento de Ensaio		ISO 148-1:2010					
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017 + Diretiva 2014/68/EU					
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável					

Tabela 35 - Resultados dos ensaios de impacto pEPS 08

Provede de Ensaio				Energia Absorvida (J)			Temperatura (°C)
Ref	Entalhe	Localização	Dimensões	Valor Obtido	Valor Médio	Valor Requerido	
CH1	ISO V	ZAC	7,5 x 55,0 x 10	122	115	27	-20
CH2	ISO V	ZAC	7,5 x 55,0 x 10	106			
CH3	ISO V	ZAC	7,5 x 55,0 x 10	119			
CH4	ISO V	MF	7,5 x 55,1 x 10	98	86		
CH5	ISO V	MF	7,5 x 55,1 x 10	63			
CH6	ISO V	MF	7,5 x 55,1 x 10	96			
Procedimento de Ensaio		ISO 148-1:2010					
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017 + Diretiva 2014/68/EU					
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável					

Tabela 36 - Resultados dos ensaios de dureza pEPS 01 - Secção Transversal 1

Provete de Ensaio				
Ref.	ST1			
Tipo	HV10			
Valor Máximo Admissível	380 HV10			
Temperatura de Ensaio (°C)	21			
Força (kgf)	10			
Localização	Identação	1ª Filiação	2ª Filiação	3ª Filiação
MB1	1	162	156	168
	2	162	164	168
	3	164	172	170
ZAC1	4	352	238	260
	5	238	212	224
	6	233	241	252
MF	7	225	233	234
	8	217	231	242
	9	233	226	236
ZAC2	10	214	236	290
	11	247	217	227
	12	212	206	230
MB2	13	168	161	170
	14	165	172	169
	15	161	167	169
Procedimento de Ensaio	ISO 9015-1:2001			
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017			
Resultado	Nada a assinalar/Aceitável			

Tabela 37 - Resultados dos ensaios de dureza pEPS 07 - Secção Transversal 1

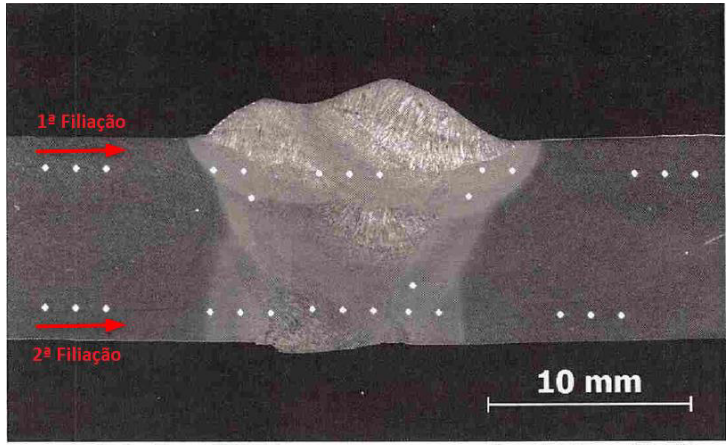
Provete de Ensaio				
Ref.	ST1			
Tipo	HV10			
Valor Máximo Admissível	380 HV10			
Temperatura de Ensaio (°C)	20			
Força (kgf)	10			
Localização	Identação	1ª Filiação	2ª Filiação	3ª Filiação
MB1	1	166	168	-
	2	170	169	-
	3	168	173	-
ZAC1	4	196	186	-
	5	260	194	-
	6	198	207	-
MF	7	193	195	-
	8	180	194	-
	9	185	188	-
ZAC2	10	248	195	-
	11	212	184	-
	12	207	195	-
MB2	13	171	181	-
	14	170	183	-
	15	170	179	-
Procedimento de Ensaio	ISO 9015-1:2001			
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017			
Resultado	Nada a assinalar/Aceitável			

Tabela 38 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 01 - Secção Transversal 2

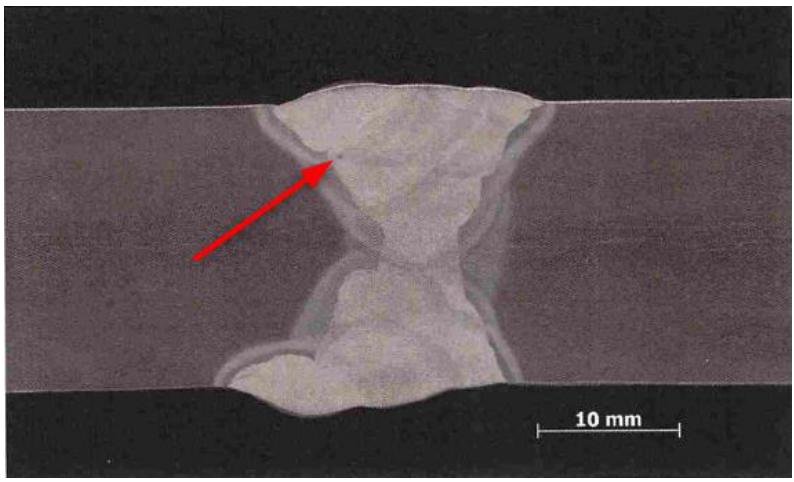
Provete de Ensaio		
Ref.	ST2	
Orientação	Transversal	
Reagente	Nital 2%	
Temperatura de Ensaio (°C)	21	
Indicação	2011	
Dimensão	h=0,1 mm	
Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003	
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5	
Resultado	Imperfeição inferior ao critério de aceitação/Aceitável	

Tabela 39 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 03 – Secção Transversal 1


Provete de Ensaio		
Ref.	ST1	
Orientação	Transversal	
Reagente	Nital 2%	
Temperatura de Ensaio (°C)	21	
Indicação	300	
Dimensão	0,3 mm	
Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003	
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5	
Resultado	Imperfeição inferior ao critério de aceitação/Aceitável	

Tabela 40 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 03 – Secção Transversal 2

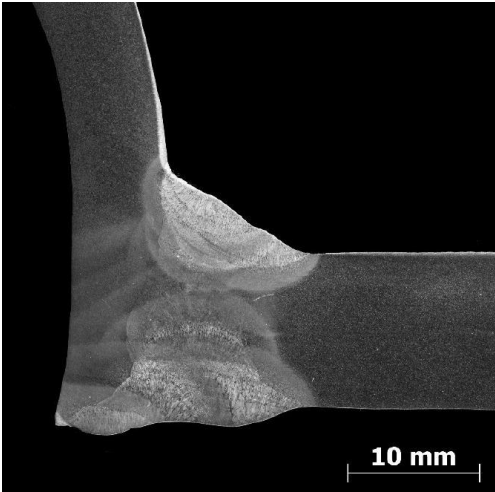
Provete de Ensaio		
Ref.	ST2	
Orientação	Transversal	
Reagente	Nital 2%	
Temperatura de Ensaio (°C)	21	
Indicação	-	
Dimensão	-	
Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003	
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5	
Resultado	Aceitável	

Tabela 41 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 04 – Secção Transversal 1

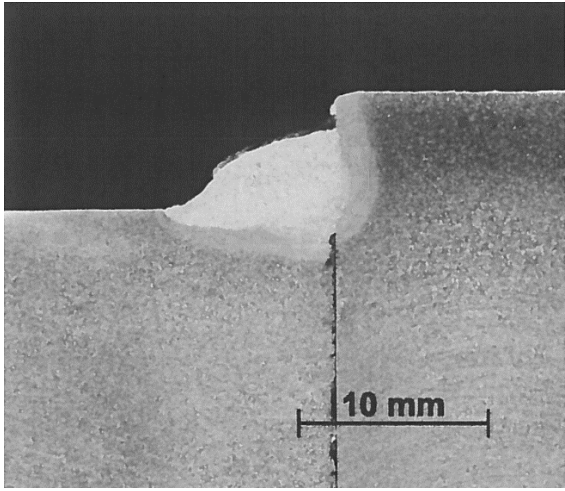
Provete de Ensaio		
Ref.	ST1	
Orientação	Transversal	
Reagente	Nital 2%	
Temperatura de Ensaio (°C)	21	
Indicação	-	
Dimensão	-	
Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003	
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5	
Resultado	Aceitável	

Tabela 42 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 04 – Secção Transversal 2

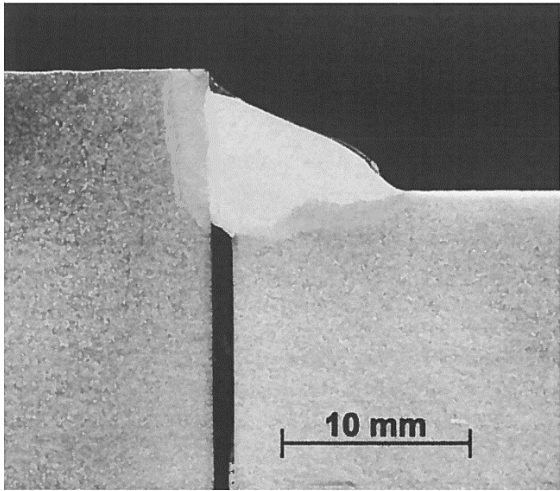
Provete de Ensaio		
Ref.	ST2	
Orientação	Transversal	
Reagente	Nital 2%	
Temperatura de Ensaio (°C)	21	
Indicação	-	
Dimensão	-	
Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003	
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5	
Resultado	Aceitável	

Tabela 43 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 05 – Secção Transversal 1

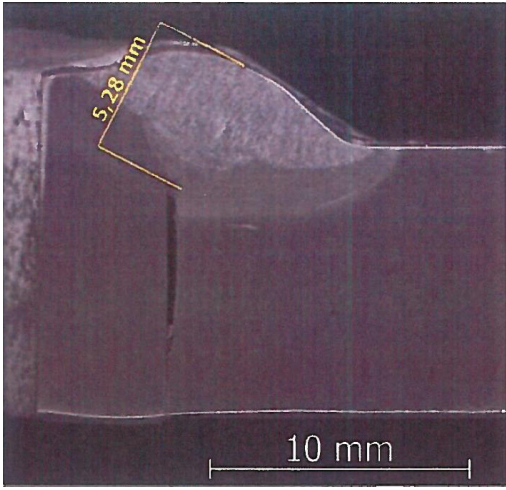
Provete de Ensaio		
Ref.	ST1	
Orientação	Transversal	
Reagente	Nital 2%	
Temperatura de Ensaio (°C)	21	
Indicação	-	
Dimensão	-	
Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003	
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5	
Resultado	Aceitável	

Tabela 44 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 05 – Secção Transversal 2

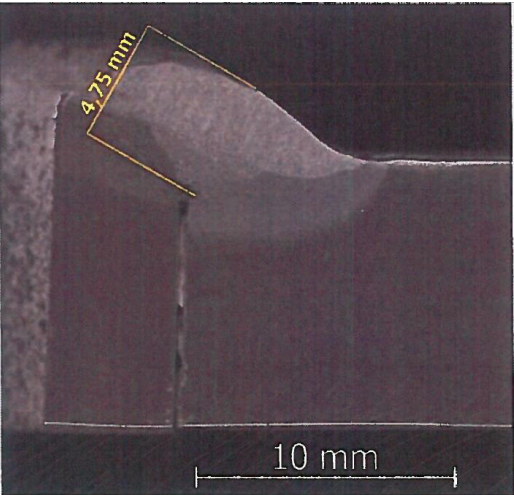
Provete de Ensaio		
Ref.	ST2	
Orientação	Transversal	
Reagente	Nital 2%	
Temperatura de Ensaio (°C)	21	
Indicação	-	
Dimensão	-	
Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003	
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5	
Resultado	Aceitável	

Tabela 45 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 06 – Secção Transversal 1

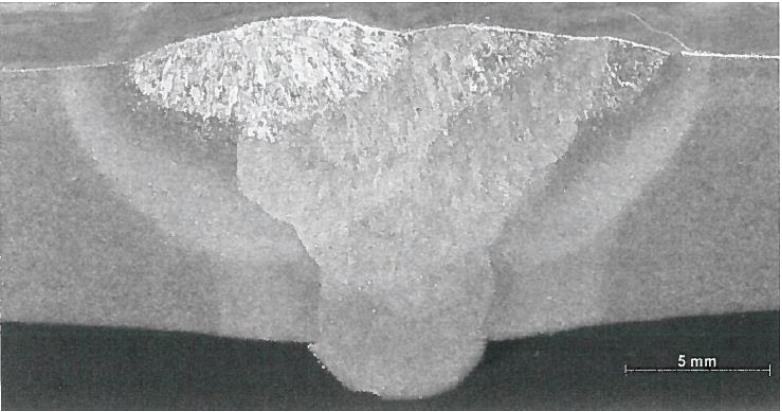
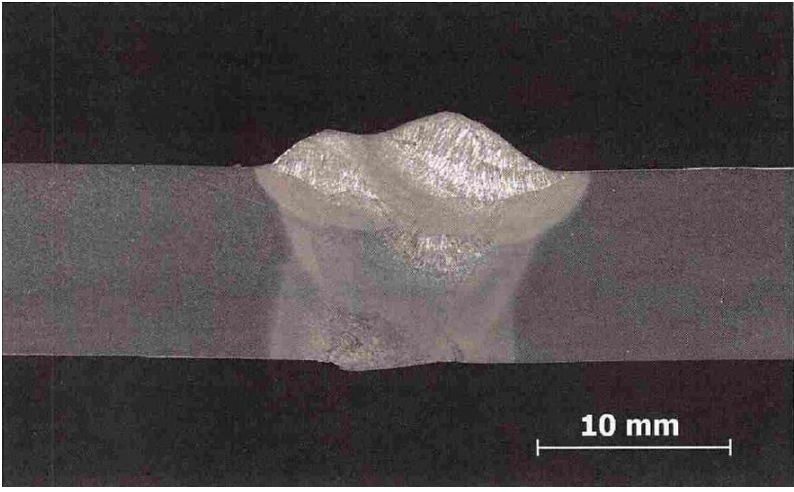
Provete de Ensaio		
Ref.	ST1	
Orientação	Transversal	
Reagente	Nital 2%	
Temperatura de Ensaio (°C)	20	
Indicação	-	
Dimensão	-	
Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003	
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5	
Resultado	Aceitável	

Tabela 46 - Resultados do ensaio macrográfico pEPS 07 – Secção Transversal 2

Provete de Ensaio		
Ref.	ST2	
Orientação	Transversal	
Reagente	Nital 2%	
Temperatura de Ensaio (°C)	20	
Indicação	-	
Dimensão	-	
Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003	
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5	
Resultado	Aceitável	

4.9 Especificações de procedimentos de soldadura qualificadas

Visto que os resultados da qualificação dos procedimentos de soldadura são aceitáveis de acordo com a norma de qualificação ISO 15614-1 e com a norma de produto EN 12953, a etapa seguinte é o desenvolvimento das especificações de procedimento de soldadura qualificadas. Como já foi descrito, ao contrário das especificações preliminares cujo objetivo é definir as condições de prova tendo em vista a qualificação do procedimento de soldadura, as EPS qualificadas são um documento técnico de trabalho com todas as variáveis e respetivas gamas de qualificação. No âmbito da construção da caldeira, foram desenvolvidas todas as EPS qualificadas necessárias à sua construção, conforme se apresenta a seguir. Por uma questão de simplificação do documento, apresenta-se a EPS número 1 no corpo do documento imediatamente adiante, e as restantes no Anexo 5. Foi tido em linha de conta rentabilizar a gama de qualificação máxima, para cada prova definida, dando enfoque à natureza do trabalho a realizar, muito embora o domínio de validade possa sempre ser em cada uma delas o que foi mencionado na Tabela 24. De notar ainda que, relativamente às sequências de soldadura, por motivos de imprevisibilidade de número concreto de passes de soldadura, apresenta-se um detalhe abrangente onde se subdivide as camadas das soldaduras ou *layers* nas três principais regiões, ou seja: penetração, enchimento e passes de vista.

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/EPS Nº.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	EPS Nº. 01	15609-1	0037	-			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
-	P: $\sigma_{ced} \leq 355$ MPa T: $\sigma_{ced} \leq 355$ MPa	1.1-1.1; 1.1-1.2; 1.2-1.2	$10 \leq t \leq 40$	> 500 > 150 (PC, PF a rodar, PA a rodar)			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	BW, T-BW		ID SOLDADURA(S)	I1,I2,I3,I4,I5,I6,I7,I8,I9,I10,c1,c2,c3,c5,c6,c7, c8,c9,c10,n4,n15			
Ângulo de Chanfro	$60^\circ \pm 2$	Talão (mm)	2 ± 1	Folga (mm)	2 ± 1	Garganta (mm)	-
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ		OBSERVAÇÕES			
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos		-			
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO		PROCEDIMENTO			
N/A se, T > 10 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	Lápis Térmico		N/A			
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	n (Enchimento)	n+1 (Passes de Vista)				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	138 - S	138 - S	138 - S				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5				
MARCA COMERCIAL	ESAB OK 14.13	ESAB OK 14.13	ESAB OK 14.13				
DIÂMETRO	1,2	1,2	1,2				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	ISO 14175-M20	ISO 14175-M20	ISO 14175-M20				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	16 - 18	16 - 18	16 - 18				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-	-				
POSIÇÃO	Todas Excepto PG, PJ, H-L045	Todas Excepto PG, PJ, H-L045	Todas Excepto PG, PJ, H-L045				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A empurrar/Horizontal	A empurrar/Horizontal	A empurrar/Horizontal				
INTENSIDADE (A)	190 - 231	214 - 260	220 - 269				
TENSÃO (V)	23,8 - 29,2	24,0 - 29,4	24,3 - 29,7				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	200 - 245	315 - 385	498 - 608				
ENTREGA TÉRMICA / (kJ/mm)	1,08 - 1,32	0,78 - 0,96	0,52 - 0,63				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EP	DC EP	DC EP				
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	8,0 - 9,5	8,0 - 9,5	8,0 - 9,5				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	15,9	15,9	15,9				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	Máx. 25	Máx. 25	Máx. 25				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <math> < 1,5 \cdot \varnothing_{\text{fio}} </math>	Corrido / <math> < 1,5 \cdot \varnothing_{\text{fio}} </math>	Corrido / <math> < 1,5 \cdot \varnothing_{\text{fio}} </math>				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

4.10 Qualificação de soldadores

Apenas soldadores qualificados podem executar soldaduras no equipamento em estudo. A qualificação dos soldadores deve considerar a disponibilidade e alocação de soldadores a determinado trabalho, face às necessidades de produção (pessoas e equipamentos), sequência de montagem, bem como levar em linha de conta as competências efetivas de cada soldador. Apesar de o corpo de prova usado para qualificação de procedimentos de soldadura, servir também o propósito da qualificação do soldador que a realizou, **é inevitavelmente necessário observar a norma de qualificação dos soldadores**, pois como já foi descrito, **as gamas de qualificação são diferentes e podem eventualmente não completar todas as necessidades**. A Tabela 47 identifica a gama de validade para qualificação de soldadores, tendo por base as provas de qualificação de procedimentos de soldadura.

Tabela 47 - Domínio de validade para qualificação de soldadores de acordo com a ISO 9606

CORPO DE PROVA N.º 1	Processo de Soldadura	135,138	Espessura de Material	-
	Forma do Produto	P, T	Espessura depositada	≥ 3
	Tipo de Junta	BW	Diâmetro Exterior (mm)	≥ 75 , a rodar ≥ 500 , fixo
	Grupo de Material de Adição	FM1, FM2	Posições de Soldadura	PA, PC, PF
	Tipo de Material de Adição	S, M	Detalhes de Soldadura	ss mb; bs; *
CORPO DE PROVA N.º 2	Processo de Soldadura	141 + 111	Espessura de Material	P: ≥ 3 T: ≥ 3
	Forma do Produto	P, T	Espessura depositada	≥ 3
	Tipo de Junta	Picagem	Diâmetro Exterior (mm)	$\geq 44,45$
	Grupo de Material de Adição	FM1, FM2	Posições de Soldadura	PA, PB, PC, PD, PE, PF
	Tipo de Material de Adição	141: S, M 111: A, RA, RB, RC, RR, R, B	Detalhes de Soldadura	ss mb; bs; *
CORPO DE PROVA N.º 3	Processo de Soldadura	111	Espessura de Material	P: ≥ 3 T: ≥ 3
	Forma do Produto	P, T	Espessura depositada	-
	Tipo de Junta	FW	Diâmetro Exterior (mm)	≥ 25
	Grupo de Material de Adição	FM1, FM2	Posições de Soldadura	PA, PB, PC, PD, PE, PF
	Tipo de Material de Adição	A, RA, RB, RC, RR, R, B	Detalhes de Soldadura	sl, ml
CORPO DE PROVA	Processo de Soldadura	111	Espessura de Material	P: ≥ 3 T: ≥ 3
	Forma do Produto	P, T	Espessura depositada	-

	Tipo de Junta	FW	Diâmetro Exterior (mm)	≥ 25
	Grupo de Material de Adição	FM1, FM2	Posições de Soldadura	PA, PB, PC, PD, PE, PF
	Tipo de Material de Adição	A, RA, RB, RC, RR, R, B	Detalhes de Soldadura	sl, ml
CORPO DE PROVA N.º 5	Processo de Soldadura	141	Espessura de Material	-
	Forma do Produto	P, T	Espessura depositada	3,0 – 16,0
	Tipo de Junta	BW, Picagem $\alpha \geq 60^\circ$	Diâmetro Exterior (mm)	$\geq 41,25$
	Grupo de Material de Adição	FM1, FM2	Posições de Soldadura	PA, PC, PE, PF, PH
	Tipo de Material de Adição	S, M	Detalhes de Soldadura	ss nb, ss mb, bs, ss gb, ss fb
CORPO DE PROVA N.º 6	Processo de Soldadura	111	Espessura de Material	-
	Forma do Produto	P, T	Espessura depositada	3,0 – 20,0
	Tipo de Junta	BW, Picagem $\alpha \geq 60^\circ$	Diâmetro Exterior (mm)	≥ 75 , a rodar ≥ 500 , fixo
	Grupo de Material de Adição	FM1, FM2	Posições de Soldadura	PA, PC, PF
	Tipo de Material de Adição	A, RA, RB, RC, RR, R, B	Detalhes de Soldadura	ss nb, ss mb, bs, ss gb, ss fb

Como é possível comprovar, os resultados da qualificação de soldadores, com recurso a corpos de prova iguais aos que foram utilizados para qualificação de procedimentos de soldadura, são suficientes para uma total abrangência das soldaduras a executar. No entanto é compreensível que nem todos os soldadores se capacitem em todos os processos, pois pode não se revelar exequível e/ou necessário. O fabricante deve garantir que aloca à execução de uma determinada junta de soldadura, um soldador devidamente qualificado para o efeito.

No presente trabalho, existiu uma intencional e criteriosa seleção de corpos de prova de procedimentos de soldadura que constituíssem simultaneamente condição necessária e suficiente para a qualificação dos soldadores. No entanto, para os casos em que tal não seja possível, deve aprovisionar-se essa necessidade de qualificação. Quando, e sempre que se pretender qualificar outro soldador que não o que realizou a prova de procedimento, o corpo de prova deve atender, no mínimo, às dimensões previstas na ISO 9606.

4.11 Testemunhos de fabrico

A execução dos testemunhos de fabrico, ocorreu conforme mencionado na secção 4.6, e obtiveram-se os resultados da Tabela 48 para os ensaios não destrutivos aplicáveis.

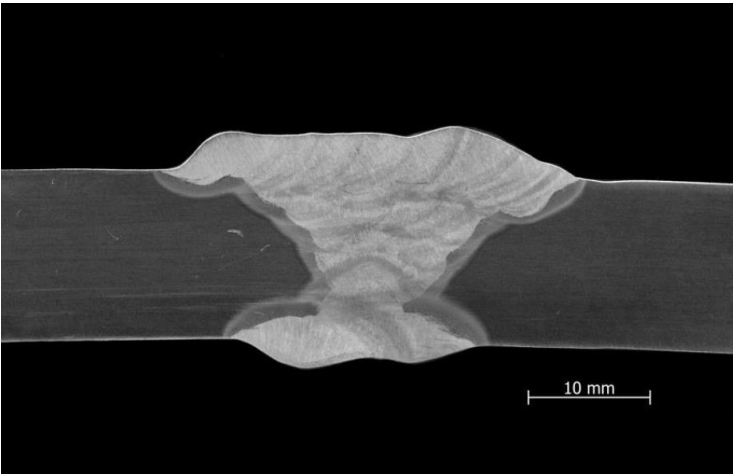
Tabela 48 - Resultados dos ensaios não destrutivos à chapa de testemunho

Identificação da Prova	Ensaio não destrutivo	Norma de Ensaio	Norma de Aceitação	Resultado
Chapa Testemunho	Inspeção Visual (VT)	ISO17637	ISO5817-B	Aceitável
	Ultrassons (UT)	ISO17640	ISO11666-2X	Aceitável

Os resultados dos ensaios mecânicos requeridos pela EN 12953-5, apresentam-se na Tabelas 49 e Tabela 50.

Tabela 49 – Resultado do ensaio macrográfico à chapa de testemunho

Provete de Ensaio	
Ref.	ST1
Orientação	Transversal
Reagente	Nital 2%
Temperatura de Ensaio (°C)	21
Indicação	-
Dimensão	-



Procedimento de Ensaio	ISO 17639:2003
Critério de Aceitação	ISO 15614-1:2017 + EN 12953-5
Resultado	Aceitável

Tabela 50 - Resultados do ensaio de impacto à chapa de testemunho

Provete de Ensaio				Energia Absorvida (J)			Temperatura (°C)
Ref	Entalhe	Localização	Dimensões	Valor Obtido	Valor Médio	Valor Requerido	
CH1	ISO V	ZAC	10 x 55 x 10	152	136	27	-20
CH2	ISO V	ZAC	10 x 55 x 10	115			
CH3	ISO V	ZAC	10 x 55 x 10	140			
CH4	ISO V	MF	10 x 55 x 10	141	139		
CH5	ISO V	MF	10 x 55 x 10	137			
CH6	ISO V	MF	10 x 55 x 10	140			
Procedimento de Ensaio		ISO 148-1:2010					
Critério de Aceitação		ISO 15614-1:2017 + Diretiva 2014/68/EU					
Resultado		Nada a assinalar/Aceitável					

4.12 Plano de inspeção e ensaios

Como já foi mencionado, a existência de um plano de inspeção e ensaios numa qualquer construção soldada que se deseje realizar, é um requisito. O desafio passa por agrupar sistematicamente todos os requisitos implicados na construção da caldeira. Não existe apenas uma única forma de desenvolver um plano de inspeção e ensaios. O importante é que aquilo a que designamos plano de inspeção e ensaios tenha a informação mínima requerida para um determinado cenário.

No caso em estudo, e baseado na norma EN 12953-5, criou-se um só documento que fosse capaz de definir e balizar todas as atividades implícitas à construção. Esta metodologia permite condensar toda a informação relevante, sob a forma de especificação técnica normativa que deve ser colocada à aprovação e validação dos diversos intervenientes e/ou partes responsáveis. Enquanto documento transversal, o plano de inspeção e ensaios proposto, contempla diversas etapas prévias à fabricação propriamente dita como a revisão técnica e documental, que desde logo deverá conter etapas que permitam verificar a conformidade do que fora especificado em projeto. Por conseguinte, requisitos relacionados com materiais de base e adição, e sua rastreabilidade, devem ser claramente especificados, à semelhança do que também acontece com os processos de fabrico. De notar que, quando se trata de soldadura, o plano de inspeção e ensaios deve incluir, além das considerações relativas aos ensaios não destrutivos, especificações que garantam a conformidade antes, durante e após a execução da soldadura. É imperativo que exista clareza nos níveis de qualificação exigidas para todos os técnicos envolvidos, com funções de execução (como os soldadores, operadores,..) ou funções de inspeção ou supervisão (técnicos de controlo não destrutivo, inspetores,..). Devem ser mencionados os requisitos aplicáveis à execução dos testemunhos de fabrico, seja em forma de chapas de testemunho ou outros métodos. Devem ainda figurar impreterivelmente os controlos finais a executar ao equipamento.

À semelhança do que acontece nos ensaios não destrutivos ou destrutivos, para cada uma das fases mencionadas anteriormente correlacionadas com a construção, foi atribuída a sua extensão, tipologia e amplitude, tipo de informação documentada e/ou qualificação requerida, bem como definidos pontos de paragem obrigatória, revisão ou vigilância e os envolvidos em cada um deles. O Plano de Inspeção e Ensaios proposto para a construção da caldeira de vapor em estudo, e em conformidade com a EN12953 apresenta-se na Tabela 51.

Tabela 51 - Plano de Inspeção e Ensaio para cumprimento dos requisitos de construção da caldeira de vapor

LOGOTIPO FABRICANTE		PLANO DE INSPEÇÃO E ENSAIOS										PROJETO N.º	Caldeira de Vapor Saturado	
CLIENTE						EQUIPAMENTO						Rev.	00	
ELABORADO POR		Carlos Martinho				APROVADO POR						Data		
ITEM	ACTIVIDADE	INSPEÇÃO & CONTROLO				CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO	REGISTO	NÍVEL DE INTERVENÇÃO						OBSERVAÇÕES
		TIPO	PROCEDIMENTO	FREQUÊNCIA	EXECUTANTE			Fabricante	Validação	Cliente	Validação	O.N.	Validação	
CÓDIGO DE FABRICO		EN 12953				EN 12953; Diretiva 2014/68/EU	--	HP			--	SP		
0	REVISÃO TÉCNICA REVISÃO DOCUMENTAL													
0.1	Cálculo e Dimensionamento	DOC	--	100%	FABRICANTE	EN 12953-3: 2016	Nota de Cálculo	HP		N/A		HP		
0.2	Elaboração do PIE	DOC	--	100%	FABRICANTE	EN 12953-4; EN 12953-5	PIE	HP		N/A		HP		
0.3	Registo de qualificação de procedimentos de soldadura (RQPS)	DOC	RQPS	100%	FABRICANTE	EN 12953-5; EN ISO 15614-1	RQPS	HP		N/A		HP		
0.4	Especificações de procedimento de soldadura (EPS)	DOC	EPS	100%	FABRICANTE	EN ISO 15609	EPS	HP		N/A		SP		
0.5	Certificação de operadores END's	DOC	--	100%	FABRICANTE	EN ISO 9712 Nível II	Certificado de Qualif. do Técnico	HP		N/A		SP		
0.6	Especificação de Compra	DOC	--	100%	FABRICANTE	NE/NP	Nota de Encomenda	HP		N/A		SP		
0.7	Especificação de Subcontratação	DOC	IT	100%	FABRICANTE	IT	Mod.	HP		N/A		SP		
1	RECEÇÃO DE MATERIAIS													
1.1	Inspeção de materiais	V/D	IT	100%	FABRICANTE	NE/NP	Certificado	SP		N/A		SP		
1.2	Receção certificados Material Base	DOC	IT	100%	FABRICANTE	NE/NP	Certificado Tipo 3.1 / EN10204	SP		N/A		SP		

ITEM	ACTIVIDADE	INSPEÇÃO & CONTROLO				CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO	REGISTO	NÍVEL DE INTERVENÇÃO						OBSERVAÇÕES
		TIPO	PROCEDIMENTO	FREQUÊNCIA	EXECUTANTE			Fabricante	Validação	Cliente	Validação	O.N.	Validação	
1.3	Receção certificados Material de Adição	DOC	IT	100%	FABRICANTE	NE/NP	Certificado Tipo 3.1 /2.2 EN10204	SP		N/A		SP		Tipo 3.1: Comp. Química Tipo 2.2: Prop. Mecânicas
1.4	Identificação e Rastreabilidade	V/D	IT	100%	FABRICANTE	EN 12953-4; EN 12953-5	Mod.	SP		N/A		SP		
1.5	Verificação de Componentes subcontratados	V/D	Desenhos	100%	FABRICANTE	NE/NP	Mod.	SP		N/A		SP		
2	CORTE, FURAÇÃO E CONFORMAÇÃO													
2.1	Controlo dimensional durante a preparação	V/D	IT	Amostragem	FABRICANTE	Desenhos	Mod.	SP		N/A		SP		
		V/D		100%				SP		N/A		SP		
3	SOLDADURA													
3.1	ANTES DE SOLDADURA													
3.1.1	Preparação de Juntas e Pré-montagem	V/D	IT	Amostragem	FABRICANTE	IT	Mod.	SP		N/A		-		
		AC		100%				SP		N/A		SP		
3.1.2	Especificações de procedimento de soldadura (EPS)	DOC	EPS	100%	FABRICANTE	EN 15609-1	EPS	SP		N/A		SP		
3.1.3	Registo de qualificação de procedimentos de soldadura (RQPS)	DOC	RQPS	100%	FABRICANTE	EN 15614-1	RQPS	SP		N/A		SP		
3.1.4	Certificados de qualificação de soldadores	DOC	EPS	100%	FABRICANTE	EN 9606-1	Certificado	SP		N/A		SP		
3.2	DURANTE A SOLDADURA													
3.2.1	Verificação do Cumprimento com as EPS	DOC	EPS	100%	FABRICANTE	-	-	SP		N/A		-		
				Amostragem				SP		N/A		SP		
3.3	APÓS A SOLDADURA													
3.3.1	Inspeção Visual de Soldaduras (VT)	V/D	EN ISO 17637	100%	FABRICANTE	ISO5817-B EN 12953-5	Mod.	HP		N/A		SP		
3.3.2	Controlo Dimensional	V/D	EN 12953-4	SECÇÃO 4.5	FABRICANTE	ISO5817-B EN 12953-5	Mod.	HP		N/A		SP		

ITEM	ACTIVIDADE	INSPEÇÃO & CONTROLO				CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO	REGISTO	NÍVEL DE INTERVENÇÃO						OBSERVAÇÕES
		TIPO	PROCEDIMENTO	FREQUÊNCIA	EXECUTANTE			Fabricante	Validação	Cliente	Validação	O.N.	Validação	
4	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS													
4.1	Restantes Ensaios Não Destrutivos (além da Inspeção Visual)	DOC	ISO 9712	TABELA 60	FABRICANTE	EN 12953-5	Relatórios	HP		N/A		SP		
4.2	Verificação dos Relatórios de Ensaios não Destrutivos	DOC	EN 12953-5	100%	FABRICANTE	EN 12953-5	Relatórios	HP		N/A		SP		
5	TESTEMUNHOS DE FABRICO													
5.1	Chapa de Testemunho	DOC	EN 12953-5	TABELA 62	FABRICANTE	EN 12953-5	Relatórios	HP		N/A		SP		
6	CONTROLO FINAL													
6.1	Inspeção Antes do Ensaio Hidráulico	V/D	EN 12953-5	100%	FABRICANTE	EN12953-5	Mod.	HP		N/A		HP		
6.2	Realização do Ensaio Hidráulico	V/D	-	100%	FABRICANTE/ O.N.	EN12953-5	Mod.	HP		N/A		HP		
6.3	Inspeção Após Ensaio Hidráulico	V/D	EN ISO 17637	100%	FABRICANTE/ O.N.	EN12953-5	Mod.	HP		N/A		HP		
6.4	Verificação dos dispositivos de Segurança	V/D	EN ISO 17637	100%	FABRICANTE/ O.N.	EN12953-5	Mod.	HP		N/A		HP		
6.5	Emissão da Declaração CE	DOC	Diretiva 2014/68/EU	100%	FABRICANTE	-		HP		N/A		HP		

Legenda

- DOC** Verificação/controlo documental, com ou sem registo, conforme determinado pelas partes envolvidas
- V/D** Controlo Visual e Dimensional, com registo em modelo do fabricante
- IT** Instrução de trabalho específica
- Mod** Modelo de registo do fabricante, e/ou outra parte envolvida no processo
- O.N.** Organismo Notificado
- Fabricante** Entidade que fabrica o equipamento, conforme especificado na diretiva aplicável
- NE** Nota de Encomenda
- NP** Norma de Produto
- HP** Ponto de Paragem Obrigatória
- SP** Ponto de Vigilância
- N/A** Não Aplicável

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas e discutidas as conclusões deste trabalho. São ainda sugeridos trabalhos futuros, como extensão ao que foi estudado e desenvolvido neste trabalho.

O presente trabalho especificou detalhadamente todos os requisitos para a construção soldada de uma caldeira de vapor saturado, a partir da informação resumida provinda do cálculo. Não podendo o desconhecimento ser invocado, por parte dos fabricantes para o não cumprimento de qualquer requisito de construção, é de suma importância estar na posse do conhecimento necessário bem como sistematizá-lo, no sentido de criar metodologias que permitam aos fabricantes incorporar a qualidade ao longo do processo. Com este trabalho é possível concluir que, sem um correto enquadramento legal e normativo, não é possível levar a cabo o projeto técnico de um qualquer equipamento, e muito em particular de um equipamento sujeito a marcação CE cuja soldadura seja o processo de fabrico predominante.

É possível compreender que a designação projeto, não diz respeito apenas à parte de cálculo/dimensionamento, mas a uma conjuntura que tem de obedecer a todos os requisitos legais, regulamentares e normativos. Isto implica necessariamente a existência de projeto de detalhe de construção soldada, baseado nas diversas partes do código de construção aplicável ao produto, bem como a normalização transversal que se justifique, e que seja também requisito enquadrável. É impreterível que todas as disposições relativas ao processo de soldadura e respetivas qualificações sejam consideradas a montante do projeto, sob pena do não cumprimento de requisitos mandatórios, e conseqüente impedimento da livre disponibilização do produto do mercado. A existência de diretivas e códigos de construção, bem como a sua eficaz aplicação são a forma possível para presumir conformidade do produto, pelo que os fabricantes devem adotar metodologias que permitam incorporar os requisitos neles mencionados ao longo da construção, de forma económica e que não coloque em causa o rigor técnico. Tal, prende-se necessariamente com um correto levantamento de necessidades, tarefa muitas vezes negligenciada.

Cada ponto deste trabalho descreve uma etapa de carácter mandatório na construção de uma caldeira de vapor, pelo que pode ser considerado um guia para a construção deste tipo de equipamentos quando considerado no seu todo. Cada etapa mencionada tem a sua resolução explanada ao longo do documento para o caso da caldeira de vapor em estudo, e aponta uma metodologia de trabalho/abordagem proposta pelo autor em cada uma delas, desde o levantamento de necessidades até à especificação necessária para a construção, fornecendo bases para o enquadramento de outros equipamentos equiparados.

O *software* que existe atualmente no mercado, tipicamente resolve e encerra-se na parte de cálculo dos códigos de construção. Sejam soluções comerciais dedicadas ao cálculo de um determinado segmento de equipamentos (Ex: PV Elite) ou outros mais generalistas (Ex: Ansys), mas o problema que resolvem é apenas o cálculo/dimensionamento. Mas como vimos a construção de determinados equipamentos não obedece apenas a requisitos de cálculo. Existe uma panóplia de outras considerações que fazem parte do projeto no seu todo. Desta forma, propõe-se como trabalho futuro informatizar o conhecimento sistematizado neste trabalho, desenvolvendo um *software* capaz de dar resposta à especificação das restantes partes dos códigos de construção de caldeiras, em especial a parte de fabrico e parte de inspeção. Alerta-se que devem ser sempre salvaguardados, simultaneamente aos códigos de construção, os requisitos regulamentares mais atuais, que se apliquem à construção naquele momento. Propõe-se ainda aplicar esta metodologia à construção de outros equipamentos, em outros sectores e em outras áreas regulamentadas, como a indústria farmacêutica, alimentar, nuclear, petroquímica ou outras, no sentido de centralizar em um só local toda a informação necessária e requerida.

Referências bibliográficas

- [1] F. J. M. Juanico, Geradores de Calor, Rio Tinto: Centro Europeu para a Economia e Gestão de Energia da Indústria, 1992.
- [2] A. T. Matsuhara e X. R. Suarez Alejandro, Projeto de Licenciatura em Engenharia Mecânica, Modelamineto de Calderos Piro tubulares, Bolívia: Universidade de San Simón, 2019.
- [3] P. J. S. Lourenço Marques, Dimensionamento/Projeto de Reservatórios Sob Pressão (RSP) Segundo a Norma ASME Sec. VIII, Aveiro: Universidade de Aveiro, 2007.
- [4] T. Andualem e T. Markos, “Design of Pressure Vessel,” University of Gondar, Institute of Technology Department of Mechanical and Industrial Engineering Machine Design, Ethiopia, 2017.
- [5] G. Meira, “Inspeção de Equipamentos: Estudo de Casos,” [Online]. Available: <http://inspecaoequipto.blogspot.com/2013/06/caso-023-explosao-da-caldeira-da-exxon.html>. [Acedido em 03 04 2020].
- [6] P. V. Analyse for Safety, “Short History of the Pressure Vessel ASME Code and Design by Analysis,” [Online]. Available: <http://analyzeforsafety.com/short-history-of-the-pressure-vessel-asme-code-and-design-by-analysis/>. [Acedido em 11 04 2020].
- [7] T. P. Pastor, Section VIII - Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels., 4th ed., New York: ASME Press, 2012.
- [8] ASME, “The History of ASME's Boiler and Pressure Vessel Code,” [Online]. Available: <https://www.asme.org/topics-resources/content/the-history-of-asmes-boiler-and-pressure>. [Acedido em 01 04 2020].
- [9] Diretiva 2014/68/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de Maio de 2014 - Relativa à harmonização da legislação dos Estados-Membros respeitante à disponibilização de equipamentos sob pressão no mercado, Jornal Oficial da União Europeia. Bruxelas.
- [10] EN ISO 2560:2005 - Welding consumables. Covered electrodes for manual metal arc welding of non-alloy and fine grain steels. Classification, Brussels: European Committee for Standardization, 2005.
- [11] EN ISO 17632:2015 - Welding Consumables. Tubular cored electrodes for gas shielded and non-gas shielded metal arc welding of non-alloy and fine grain steels. Classification, Brussels: European Committee for Standardization, 2015.
- [12] EN ISO 636:2017 - Welding consumables. Rods, wires and deposits for tungsten inert gas welding of non-alloy and fine-grain steels. Classification, Brussels: European Committee for Standardization, 2017.
- [13] EN ISO 1708-1:2010 - Welding. Basic welded joint details in steel. Part 1: Pressurized components, Brussels: European Committee for Standardization, 2010.
- [14] EN 12953-4:2018 - Shell Boilers. Part 4: Workmanship and construction of pressure parts of the boiler, Brussels: European Committee for Standardization, 2018.
- [15] EN ISO 9692-1:2013 - Welding and allied processes. Types of joint preparation. Part 1: Manual metal arc welding, gas-shielded metal arc welding, gas welding, TIG welding and beam welding of steels, Brussels: European Committee for Standardization, 2013.
- [16] EN 1011-2:2001 - Welding Recommendations for welding of metallic materials. Part 2: Arc welding of ferritic steels, Brussels: European Committee for Standardization, 2001.

- [17] EN 12953-5:2018 - Shell Boilers. Part 5: Inspection during construction, documentation and marking of pressure parts of the boiler, Brussels: European Committee for Standardization, 2018.

Anexos

Anexo 1

(Manual de Caldeiras Industriais)

O presente manual, compilado pelo autor desta dissertação, dedica-se à identificação da tipologia de constituição de equipamentos sob pressão, bem como à identificação da nomenclatura aplicável e relevante. É ainda focada toda a trama regulamentar, legal e normativa que necessariamente deve ser conhecida e respeitada.

A1.1 Tipologia e constituição de Equipamentos Sob Pressão

Atualmente é possível construir um equipamento sob pressão em qualquer forma e tamanho, embora as formas cilíndricas, esféricas e cónicas sejam geralmente preferidas. O mais comum é encontrar um equipamento sob pressão na forma cilíndrica, fechado com fundos, que podem ser de vários tipos também, nas extremidades (ver Figura 1). Apesar de matematicamente mais vantajoso, em termos de economia da espessura de membrana, e consequentemente economia de custo para o mesmo nível de solicitação, os recipientes na forma esférica são menos utilizados dos que os cilíndricos [1]. A justificação prende-se com o maior custo de produção associado ao fabrico mais complexo dos equipamentos esféricos, quando comparados com os cilíndricos [2]. Tal argumento, relativiza desde logo a referida economia de custo, dado que alterações de espessuras afetam essencialmente custos de matéria prima e manuseamento, podendo penalizar negativa e extraordinariamente a mão de obra, cujo custo tem um peso considerável. Especialmente tendo em conta que a construção destes equipamentos, que são feitos maioritariamente à medida de cada necessidade, torna inviável desenvolver uma filosofia de produção em série, direcionando o fabrico para uma necessidade e dependência objetiva de mão de obra humana.

Além do fator custo, os equipamentos cilíndricos permitem igualmente um uso racional do espaço ocupado face à sua capacidade em termos de volume de armazenamento, ainda que menor do que nos esféricos. Sendo a sua construção francamente mais simples, e como já referido, consequentemente menos dispendiosa, quando comparada com outras formas geométricas mais arrojadas de construção, permite não só que seja uma solução competitiva na fabricação, como também na inspeção e ainda na consequente montagem. Uma das formas comuns existentes para se classificar os equipamentos sob pressão é justamente em função das geometrias já mencionadas ou combinações delas, podendo estes ter orientação vertical, horizontal ou inclinados [3]. É possível também agrupá-los de acordo com a qualidade do material que for dominante e método de fabrico. Normalmente, os equipamentos sob pressão são fabricados em aço soldado, vazado, brazado ou soldobrazado, mas é possível fabricá-los em materiais alternativos como compósitos, por exemplo a fibra de carbono, cerâmica e até polímeros [3]. Em qualquer um dos anteriores casos, eles podem ser desmontáveis ou não desmontáveis. Em função da temperatura de membrana podem ser aquecidos ou não aquecidos, podendo desempenhar a sua função estando sujeitos à pressão externa ou interna. Não obstante ao mencionado, a forma mais abrangente para classificar os equipamentos é de acordo com a sua principal função ou aplicação. Estes podem ser de armazenamento, reatores, misturadores, permutadores de calor e, não deixando de ser também um permutador, caldeiras [4] [5].

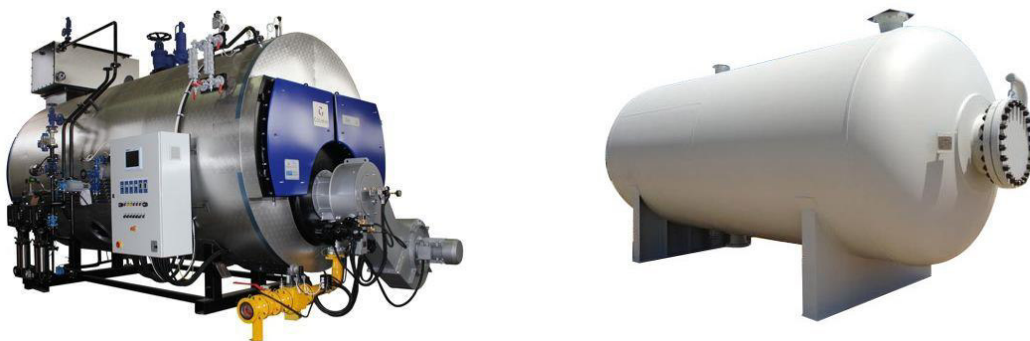


Figura 1 - Equipamentos sob pressão na forma de Caldeira (a) [6] e Reservatório Horizontal Cilíndrico (b) [7]

Geralmente os equipamentos fazem parte de instalações de processamento mais complexas, que podem encerrar no conjunto vários propósitos, nomeadamente produção (caldeiras), recuperação (permutadores) e armazenamento (depósitos) ou outros, como se pode observar a Figura 2.



Figura 2 – Instalação de Processo [8]

Ainda que não totalmente padronizados, porque os equipamentos sob pressão são desenvolvidos especificamente tendo em vista o seu propósito, é possível subdividi-los nos seus principais componentes. Apesar de poderem surgir nas mais variadas formas, apontam sempre para a existência, genericamente das partes representadas na Figura 3.

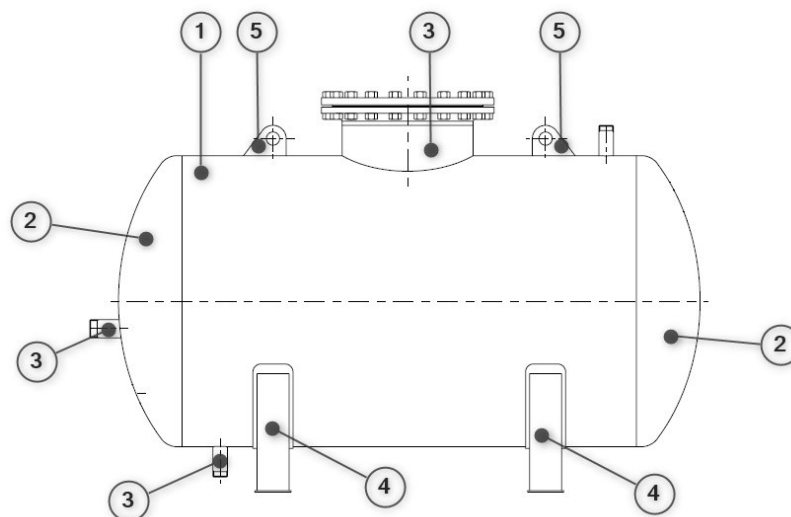


Figura 3 – Constituição genérica de um Equipamento Sob Pressão

Onde:

1. Membrana/Viola - *Shell*
2. Topos/Fundos - *Head*

3. Tubuladuras - *Nozzle*
4. Suportes - *Supports*
5. Pontos de Elevação - *Lifting Lugs*

Cada uma das partes mencionadas, possui evidentemente uma função no futuro desempenho do equipamento, podendo existir em maior ou menor quantidade, e função disso mesmo.

A1.1.1 Membrana/Viola - *Shell*

A virola é principal parte responsável por conter a pressão no interior do equipamento, e tendencialmente é a maior de todas as anteriormente mencionadas. Fabricada na esmagadora maioria das vezes a partir de chapa plana conformada a frio pelo processo de calandragem, e soldada nos bordos justapostos, por forma a atingir uma estrutura que possui um, ou mais eixos rotacionais comuns. A forma mais recorrente é a forma cilíndrica, possível de se fabricar em vários diâmetros e comprimentos, nas orientações verticais, horizontais ou até oblíquos, conforme se pretende ilustrar na Figura 4 [3].

No entanto os mesmos processos podem ser utilizados para atingir a forma esférica ou cônica.



Figura 4 - Exemplos de conformação de virolas cilíndricas e cones

A1.1.2 Topos/Fundos - *Heads*

Para que o propósito de conter a pressão interior seja cumprido, as virolas devem ser fechadas nas extremidades, através dos designados Topos ou Fundos. Estes componentes são tipicamente curvos, em detrimento da configuração puramente plana. As geometrias curvas favorecem o cálculo, e permitem que os fundos sejam de menor espessura, com a vantagem de redução do peso e respetivo impacto no custo de fabricação, que deve ser ponderado pelo fabricante. Isto porque, se por um lado se pode economizar por via da espessura, não podemos ignorar que um fundo curvilíneo, seja qual for o seu tipo

especificamente, acarreta um inevitável acréscimo de custo global de fabrico desta peça devido ao emprego adicional da etapa de conformação após corte [3]. Os topos podem assumir várias designações, em função da sua geometria específica, e podem ser fabricados nas dimensões pretendidas, definindo tipicamente apenas a espessura pretendida e o diâmetro final após conformação, que derivam do cálculo analítico do equipamento. São, para uma dada espessura e , compostos por uma região côncava (1) de raio fixo R e altura interior h_2 . Imediatamente a seguir existe a região tórica (2), caracterizada por um raio r , inferior a R que garante a transição desejada entre a parte central e faz fronteira com a região cilíndrica (3) de diâmetro exterior D_e e altura h_1 que posteriormente contacta com a virola do corpo do equipamento (Ver Figuras 5 e 7).

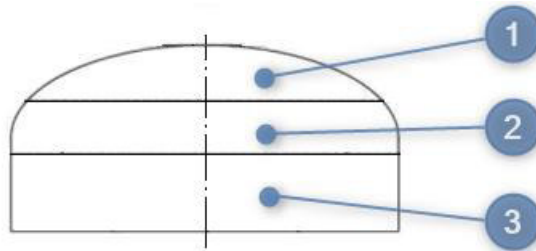


Figura 5 - Regiões de um fundo

De acordo com o ASME Sec. VIII Div1, podem adotar terminologias específicas e ser agrupados em fundos elipsoidais, torisféricos, tipo ASME 80-10, cónicos, tornicónicos, planos ou hemisféricos [3] [9] [10].

Os **Fundos Hemisféricos** são de geometria radial, onde a profundidade é metade do seu diâmetro, e como o próprio nome indica, forma metade de uma esfera (ver Figura 6). É por isso uma geometria que permite que, quando comparada com outras, tenhamos para um mesmo nível de pressão, uma menor espessura requerida. Podem ser produzidas por embutidura, para diâmetros pequenos, ou feita em várias partes conformadas individualmente e soldadas entre si até atingir a geometria final. Desta forma, são utilizados sobretudo em aplicações sujeitas a pressões elevadas e tendencialmente em equipamentos de grandes diâmetros.



(a)



(b)

Figura 6 - Fundo hemisférico inteiro embutido (a) e fabricado em gomos (b)

Os **fundos elipsoidais** são também frequentemente designados por elípticos. É um formato de produção mais económica, caracterizado de acordo com o ASME por ter uma profundidade sem aba de $\frac{1}{4}$ do diâmetro interior maior, e adicionalmente por ter um raio final que oscila entre o valor do eixo maior e menor, frequentemente na proporção de 2:1 [10]. Já de acordo com a DIN 28013, o fundo

elipsoidal deve corresponder às relações geométricas fornecidas pelas equações 1 a 4 considerando o a geometria da apresentada na Figura 7 [11].

$$R = 0,8 \cdot D_e \quad (1)$$

$$r = 0,154 \cdot D_e \quad (2)$$

$$h_1 \geq 3 \cdot e \quad (3)$$

$$h_2 = 0,2555 \cdot D_e - 0,635 \cdot e \quad (4)$$

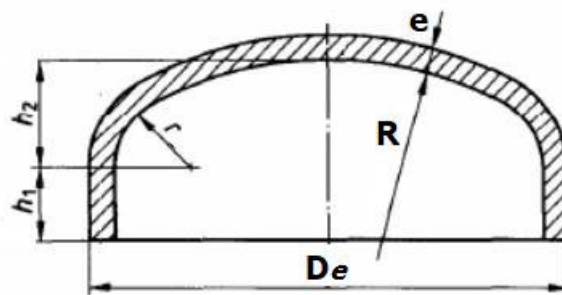


Figura 7 - Geometria de um fundo elipsoidal [11]

Os **fundos torisféricos** são uma composição entre uma parte esférica central, com uma aba cilíndrica, ligadas por uma região muito específica, designada de região tórica ou coroa. Esta região tórica tem como característica apresentar um raio de curvatura menor do que o raio da esfera que define a parte central. O nível de distribuição de tensão às quais irá estar sujeito, é menos uniforme, tornando este fundo menos eficiente nesse aspeto quando comparado com os fundos esféricos [12].

O fundo do tipo **KLÖPPER**, é uma variante dos fundos torisféricos, amplamente utilizados na indústria, obedecendo a relações geométricas traduzidas pelas equações 5 a 8 conforme se mostra na Figura 8 [12].

$$R = D_e \quad (5)$$

$$r = \frac{D_e}{10} \quad (6)$$

$$h_1 \geq 3,5 \cdot e \quad (7)$$

$$h_2 = 0,1935 \cdot D_e - 0,455 \cdot e \quad (8)$$

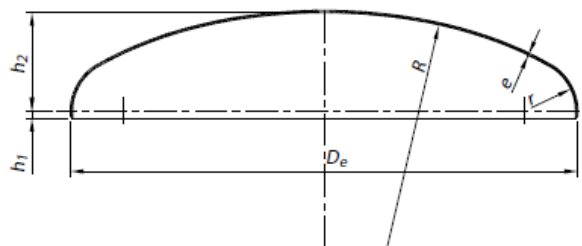


Figura 8 - Fundo torisférico tipo KLOPPER [12]

Podemos ainda encontrar facilmente disponíveis no mercado, fundos do tipo **KÖRBBOGEN**, que à semelhança dos anteriores são uma variante específica dos fundos elipsoidais mas cuja geometria varia ligeiramente e de acordo com as equações 9 a 12, e conforme demonstra a Figura 9 [11].

$$R = 0,8 \cdot D_e \quad (9)$$

$$r = 0,154 \cdot D_e \quad (10)$$

$$h_1 \geq 3 \cdot e \quad (11)$$

$$h_2 = 0,255 \cdot D_e - 0,635 \cdot e \quad (12)$$

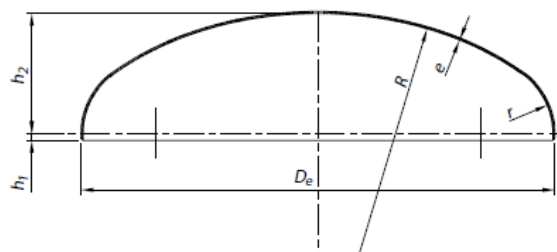


Figura 9 - Fundo torisférico tipo KÖRBBOGEN [11]

Na senda dos fundos torisféricos, existem ainda os fundos tipo **ASME 80-10**, caracterizando-se com um raio na parte concava igual a 80% do diâmetro exterior do fundo, e por um raio da região tórica de 10% do diâmetro exterior. Apesar de não constituir a geometria mais favorável em termos de distribuição de tensões, códigos como o ASME ou a EN 13445, preveem a utilização de fundos do tipo **Cónico e Toricónicos** (Figura 10 a) e b), respetivamente). Ao contrário da norma europeia, o ASME tende a trabalhar com recurso ao diâmetro interior **D** ao invés do diâmetro exterior **D_e**.

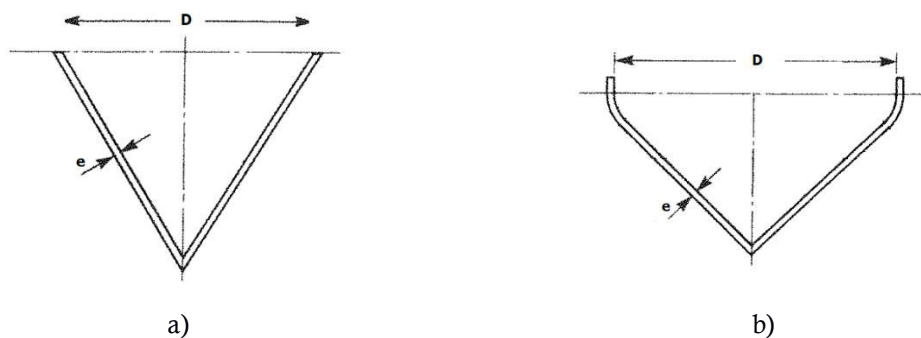


Figura 10 - Fundos Cónico (a) [10] e Toricónicos (b) [10]

Desde que justificado devidamente a nível de cálculo, é também possível recorrer à utilização de **fundos planos**. Estes fundos são constituídos por uma grande superfície plana, uma região radial de transição e uma aba que permitirá ligar à virola (Figura 11 a), ou podem ser simplesmente planos ligados na sua extremidade à virola (Figura 11 b). Em ambas as situações, e tal como em todos os anteriores tipos, a sua ligação à virola deverá cumprir com os requisitos específicos para a ligação, que habitualmente é soldada.

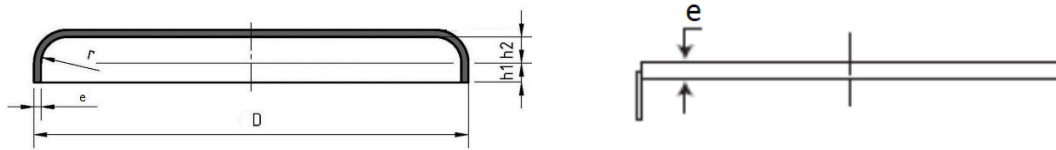


Figura 11 - Fundo plano rebordado (a) [13] e fundo simplesmente plano (b)

Nota: No caso dos fundos planos, os mesmos podem ser colocados no interior da virola, de forma a puder formar várias câmaras com diferentes condições de trabalho, para uma mesma virola partilhada.

A1.1.2.1 Requisitos técnicos para fundos

Os fundos copados não são especificados apenas com base no seu tipo, geometria e dimensões. As normas aplicáveis à sua conceção, como por exemplo a DIN 28011, recomenda que a designação de um fundo siga uma estrutura própria, que aliás deve servir desde logo um ato de compra provido de toda a informação necessária. Isto depende da definição de pelo menos as seguintes informações [11] [12]:

- Qualidade do material;
- Tipo de fabrico do material de base;
- Condição de fornecimento ao nível do tratamento térmico;
- Estado de superfície;
- Tolerâncias dimensionais;
- Tolerâncias geométricas (concentricidade, Ovalização e Planeza)
- Geometria dos bordos;
- Ensaio não destrutivo ou mecânicos a ser realizados;
- Tipo de certificado requerido, e/ou documentos de inspeção do material de base e produto acabado.

O mesmo se aplica a qualquer outro tipo de fundo, independentemente da norma que estejamos a seguir, pois apenas a definição de todas estas informações permite especificar completamente a sua compra.

A1.1.2.2 Processos de fabrico

Os fundos podem ser fabricados por conformação a frio, ou a quente dependendo dos materiais e espessuras envolvidas.

Os processos utilizados para obtenção destas peças são conhecidos como *Dishing* e *Flanging*, da mesma maneira que, dependendo de dimensões e espessura, é possível fabricar fundos recorrendo ao tradicional processo de embutidura [3] [14].

O processo de *Dishing* assegura a conformação da totalidade de fundos simplesmente copados, ou a parte central dos que ainda tenham de ser novamente deformados de forma a obter a zona tórica e a aba. O processo consiste em executar em várias etapas, indentações sucessivas até atingir a curvatura final desejada. São exigidos equipamentos de elevada capacidade de deformação e dimensão, tendo em conta as dimensões do disco primitivo que dá origem ao fundo conformado [14]. Exemplos de equipamento típico e respetiva ferramenta são apresentados na Figura 12 a) e Figura 12 b), respetivamente.



Figura 12 – Pórtico de equipamento de Dishing (a) [15] e ferramenta de conformação (b) [16]

A operação que pode seguir-se ao *Dishing*, é a formação da região tórica e da aba que permitirá a posterior soldadura do fundo ao corpo do equipamento. Este processo é denominado de *Flanging*, e é realizado com recurso a equipamentos especialmente desenvolvidos conforme se ilustra na Figura 13 a).

Durante o *flanging*, o bordo da peça conformada anteriormente é conformado por um conjunto de rolos com raios desejáveis à obtenção da geometria final. Os rolos pressionam o bordo e rolam sobre o fundo até atingir a geometria final, como se pretende representar na Figura 13 b).



Figura 13 – Pórtico de equipamento de Flanging (a) [17] e ferramenta de conformação (b) [17]

O emprego do processo de conformação por embutidura é preferido essencialmente quando estamos na presença de diâmetros pequenos (ver ferramenta e fundo embutido na Figura 14 a) e b), respetivamente). Embora fosse possível produzir praticamente todo o tipo de fundos com recurso a este processo, visto ser necessário matrizes e punções específicos para cada dimensão, seria inviável economicamente, em produções unitárias ou que sirvam projetos à medida.



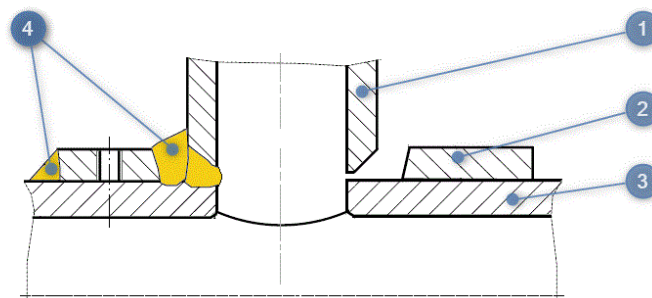
Figura 14 - Ferramenta de punçoamento (a) [18] e fundo conformado (b) [18]

A1.1.3 Tubuladuras - *Nozzles*

Todos os equipamentos sob pressão têm tubuladuras. É através delas que é feita a comunicação entre o interior do equipamento e o resto da instalação, tipicamente com recurso flanges normalizadas permitindo uma ligação facilitada na posterior montagem.

Trata-se de uma região de interseção do corpo do equipamento, no fundo ou na virola, geralmente um com recurso a tramos de tubos cilíndricos.

O conjunto denominado de tubuladura ou *Nozzle*, é o conjunto do orifício feito na virola ou fundo, e o tubo, conforme identificado na Figura 15 [19] [20] [21].



1 - Tubo; 2 - Flange de reforço; 3 - Virola; 4 - Execução de soldadura

Figura 15 - Tubuladura [22]

Novamente, esta ligação é na generalidade feita com recurso a soldadura. Ao realizar o orifício na virola, há uma redução de área resistente à pressão que deve ser reposta. A solução para este problema passa essencialmente por dois métodos: utilizar virolas de maior espessura na região onde será necessário criar uma tubuladura, do que a espessura requerida para o restante equipamento, ou reforçar apenas localmente, com a área estritamente necessária à compensação da redução que é provocada pela execução do furo na virola. Geralmente é inviável a nível económico recorrer à primeira solução, não só pelo custo da matéria prima, mas também pela gestão do aprovisionamento de materiais e da produção, apenas por um pormenor localizado. Por este motivo é comum encontrar esta ligação acoplada a um reforço. O reforço consiste em repor material na zona de perda de área, soldando um disco de reforço em chapa de material compatível mecânica e metalurgicamente com os restantes materiais da ligação. Esta situação é prevista nos códigos correspondentes, conforme verificamos na Figura 16.

A tubuladura em função da posição do tubo (d_t = diâmetro do tubo, e_t = espessura do tubo) relativamente à virola (d_v = diâmetro da virola, e_v = espessura da virola) pode caracterizar-se como penetrante, atravessante ou sobre o orifício feito na virola.

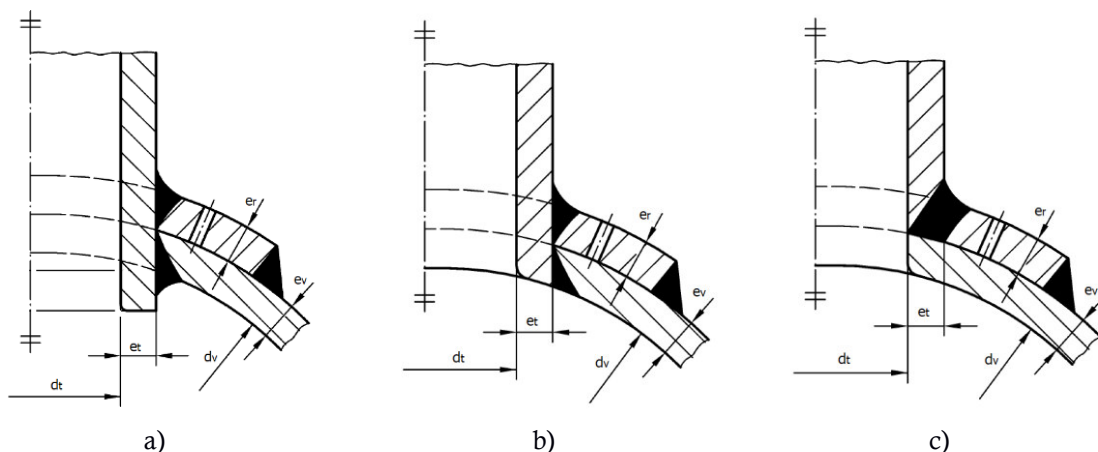


Figura 16 - Picagem penetrante (a) [21], atravessante (b) [21] e apoiada (c) [21]

Atendendo ainda à sua orientação espacial relativamente a um determinado eixo, podem ser radiais perpendiculares ou oblíquas, não radiais ou tangentes, sendo que cada um delas pode ou não ter reforço (e_r = espessura do reforço).

De salientar que a execução deste pormenor envolve uma descontinuidade geométrica, e tal como qualquer outra carece obrigatoriamente de um processo de verificação e validação de cálculo.

As aberturas são utilizadas essencialmente com os seguintes propósitos:

- ✓ Fazer a ligação do interior ao exterior do equipamento, permitindo trocas de substâncias, líquidos ou gases entre os meios, entre diferentes pontos da instalação e/ou equipamentos;
- ✓ Garantir a ligação entre o equipamento sob pressão e a sua instrumentação, seja ela de controlo, monitorização ou vigilância;
- ✓ No mínimo uma das aberturas deve ter dimensões propícias à passagem de um indivíduo, para que seja possível realizar inspeções ao interior do equipamento;

A1.1.4 Suportes - Supports

Todos os equipamentos necessitam ser apoiados de forma a garantir a sua estabilidade, em condições de trabalho ou de repouso no seu local de instalação, ou mesmo em determinadas condições de fabrico e transporte. É necessário por isso, que existam suportes que garantam essas necessidades. Objetivamente os suportes utilizados nos equipamentos sob pressão, têm como finalidade transmitir ao plano de sustentação o seu peso próprio, somado ao conteúdo que eventualmente possa conter nas situações de repouso, de funcionamento e de teste, não esquecendo a eventual existência de ações externas. Todas estas situações podem ser diferentes, e obrigam o projetista a prever todas elas.

Existem vários tipos de suportes, sendo os mais comuns os que satisfazem o apoio de equipamentos que trabalham na vertical ou na horizontal. A tipologia e variedade de suportes existente, também refletida em normas, deriva da necessidade objetiva satisfazer determinado tipo de necessidades, bem como de tipificar os mais comuns e de maior amplitude de aplicação. As ligações dos suportes ao corpo dos equipamentos devem garantir que as tensões atingidas em qualquer dos cenários anteriormente descritos, em contexto estático ou dinâmico, não excedam as tensões admissíveis calculadas. Além do regime de funcionamento, tendo em conta a dimensão e localização da instalação é comum existir a necessidade de o cálculo prever as ações do vento, neve, sismos e a necessidade de executar fundações específicas para receber e instalar o equipamento.

A1.1.4.1 Suportes para equipamentos horizontais

Os suportes do tipo Berço, ou *Saddle Supports* são a mais comum escolha para equipamentos horizontais. Recomenda-se que a face de contacto com a virola tenha um desenvolvimento (δ_2) entre 120 e 150 graus. Valores abaixo da referência e para uma mesma largura (b_2) as tensões de compressão na virola são consideravelmente mais elevadas [23]. É necessário que as extremidades apresentem ainda uma parte não apoiada, de forma a permitir alguma flexibilidade, conforme esquematizado na Figura 17 [19] [24].

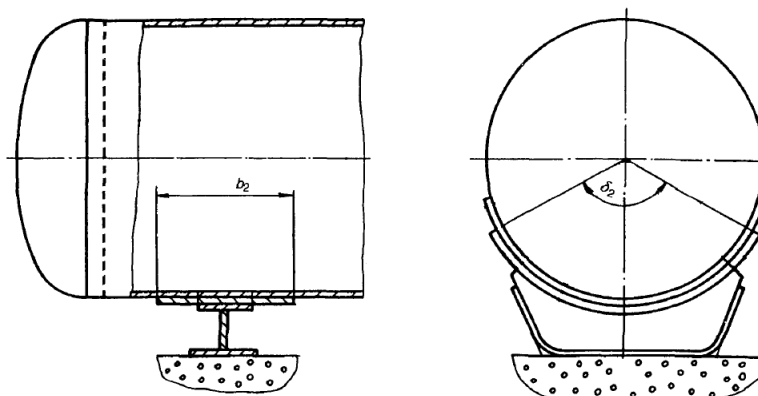


Figura 17 - Suportes tipo berço [21]

Os suportes tipo berço, desde que respeitem os pressupostos de cálculo, podem assumir várias configurações ao nível da sua conceção como se pode observar na Figura 18.

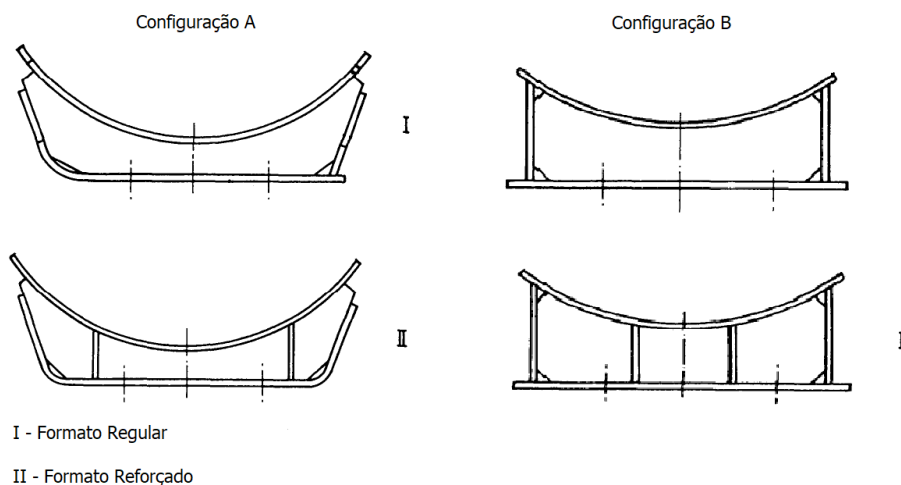


Figura 18 - Conceção de suportes tipo berço [24]

Na atividade de conceção de suportes, é necessário prever contrações e dilatações no decorrer da atividade dos equipamentos também no eixo longitudinal pelo que é comum que, ao invés de a ligação

ao plano de assentamento do equipamento ser feita através de furos, se adotem rasgos que permitam os deslocamentos que naturalmente irão ocorrer ao longo desse eixo.

Ainda que um dos apoios possa ser rígido, todos demais devem permitir deslizamento conforme a previsão de ocorrência de dilatações no equipamento e suas orientações, que não podem ser constrangidas, sob pena de se atingirem tensões localizadas acima da tensão máxima admissível.

Outro aspecto não menos importante, é prever os limites físicos em termos de espaço existente para que o equipamento possa dilatar. Em função desse constrangimento deve escolher-se o apoio fixo e o apoio que permite que o equipamento deslize, de forma a não existir interferências que induzam tensões no equipamento.

A1.1.4.2 Suportes para equipamentos verticais

Para equipamentos verticais, existem suportes tipo bracket, ou (como na gíria se costuma chamar) tipo “cachorro”, pernas ou saias. Os suportes tipo **bracket** são suportes soldados diretamente à virola do equipamento sob pressão. O recurso a este tipo de concepção está normalmente direcionado a equipamentos de medio a pequeno diâmetro, e não muito altos nem pesados. São normalmente ligados a estruturas existentes, através ligações aparafusadas, onde o furo é ovalizado para permitir alguma dilatação radial. Podem apresentar-se de diversas formas para cumprir este propósito, pelo que algumas tipologias de concepção destes suportes são apresentadas na Figura 19.

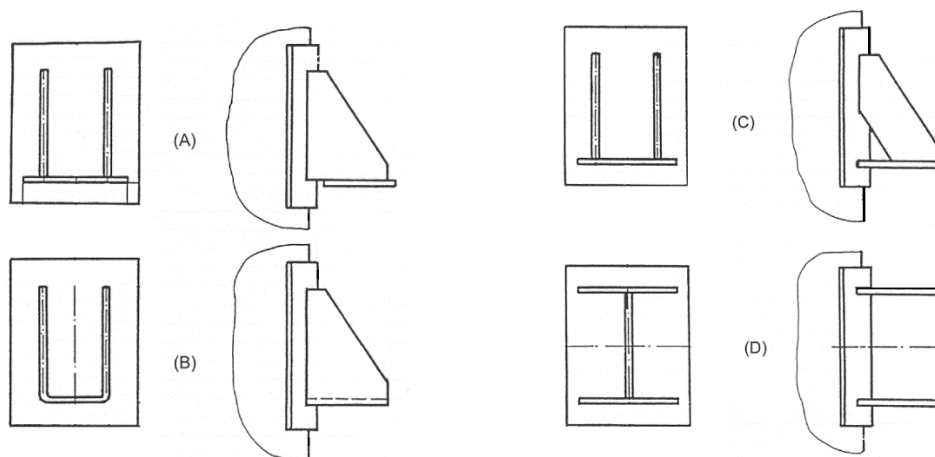


Figura 19 - Solução construtivas para suportes tipo bracket [19]

Considera-se estar perante um **suporte tipo perna**, quando este é diretamente ligado ao corpo pela parte inferior, que normalmente é um fundo copado conforme já descrito anteriormente, ou à virola.

O número de pernas necessárias depende obviamente da carga a suportar, e são frequentemente contruídas em perfis em aço estrutural. São bastante comuns no suporte de equipamentos cilíndricos verticais, mas também em esféricos, conforme representado na Figura 20.



Figura 20 - Reservatórios esféricos (a) [25] e cilíndricos verticais (b) [26]

Pormenores construtivos recomendados para a execução das ligações podem ser observados na Figura 21, onde se representa a ligação da perna (2) ao fundo ou virola (1), com disposição vertical (A) ou oblíqua (B).

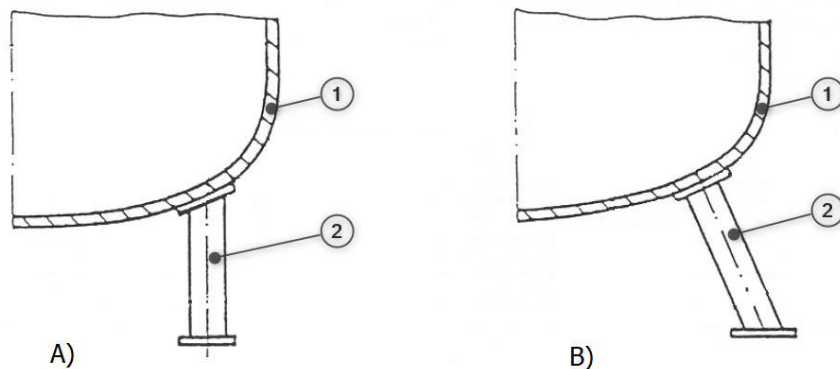


Figura 21 - Soluções construtivas para suportes tipo perna [19]

Equipamentos sob pressão cilíndricos verticais com alturas maiores e pesos mais consideráveis são normalmente suportados por **suportes tipo saia**. Uma saia nada mais é do que uma bainha em anel, feita em torno de todo o equipamento, que garante a sua ligação ao plano de assentamento, permitindo uma distribuição das tensões ao longo de todo o perímetro na região da ligação. As saias devem ter altura suficiente que permita alguma flexibilidade radial, como resposta à expansão radial, de forma a evitar concentração de tensões na região de ligação [27] [28]. Exemplos de suportes tipo saia, aplicados em equipamentos distintos, podem ser observados na Figura 22.

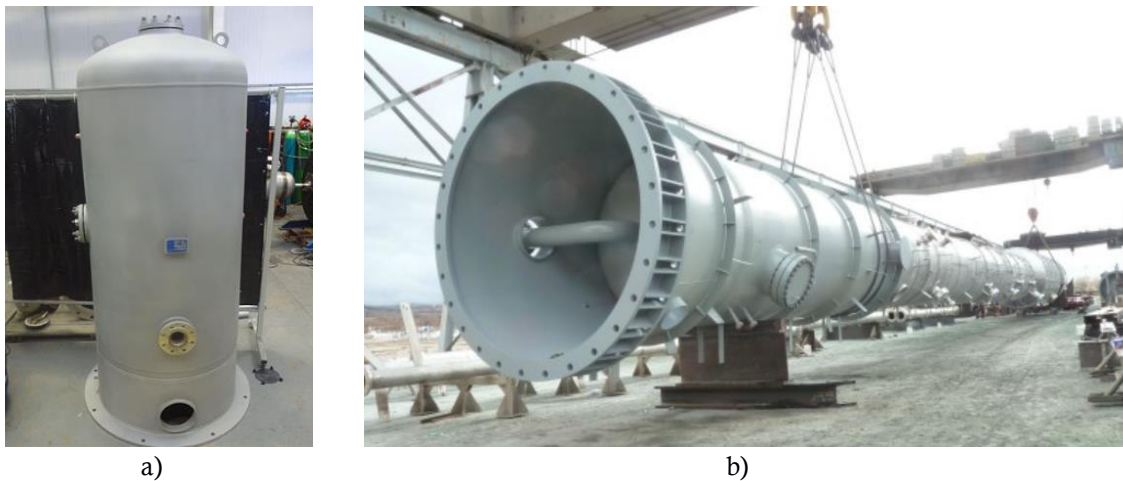


Figura 22 - Exemplo de aplicação de suportes tipo saia em reservatório cilíndrico vertical (a) [29] e em coluna de destilação (b) [30]

No que diz respeito a pormenores construtivos deste tipo de componente, à semelhança de outros códigos, a EN 13445-3 recomenda especificamente os que se apresentam na Figura 23.

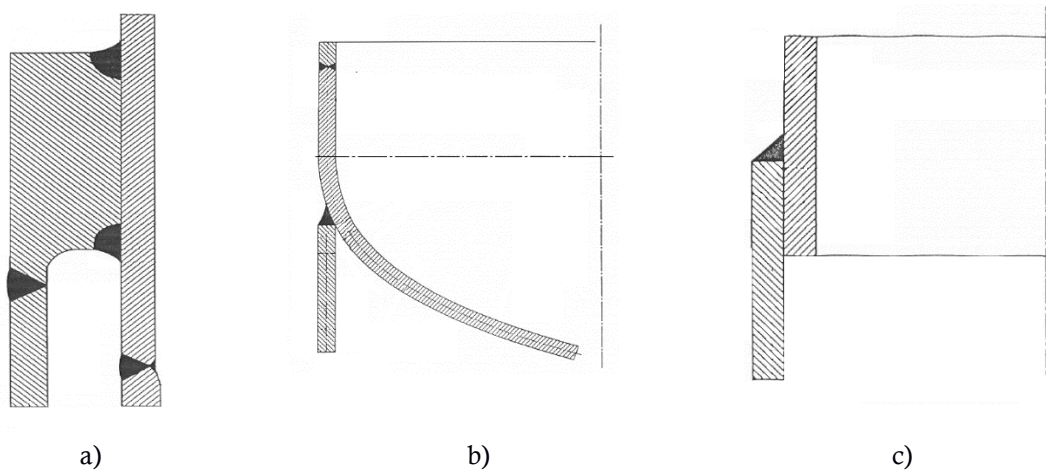


Figura 23 - Exemplos de soluções construtivas para suportes tipo saia com anel de suporte (a) [19] no alinhamento da virola (b) [19] e em junta sobreposta (c) [19]

Da mesma forma que para o recipiente principal, as saias devem permitir acesso ao seu interior, por esse motivo devem ser executadas uma ou mais aberturas para tal, conforme é possível visualizar na Figura 24. Estas aberturas são usadas como meio de manutenção e inspeção, de elementos que possam estar ligados ao equipamento, como por exemplo tubuladuras de drenagem ou purga, que devem situar-se na parte inferior dos equipamentos.

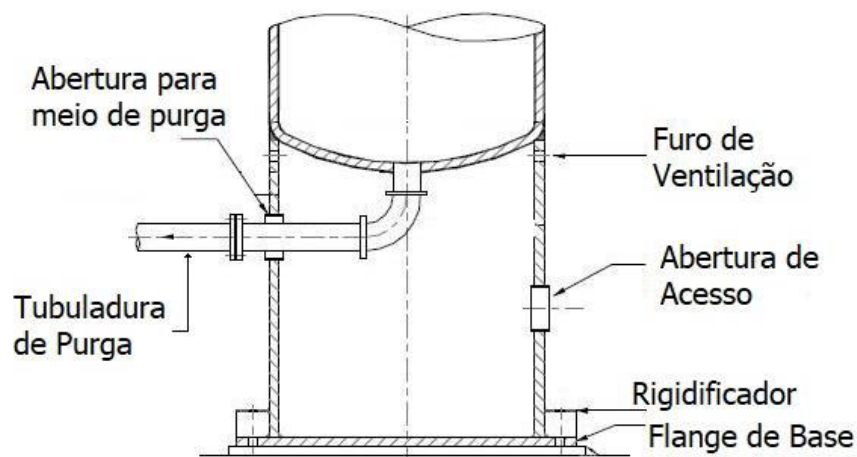


Figura 24 – Principais constituintes de um suporte tipo saia [31]

Uma regra transversal à construção soldada, e por isso também aos suportes, é a de que os mesmos devem carecer de especiais cuidados de forma a evitar cruzamento de cordões de soldadura.

Os cruzamentos caracterizam-se por tensões residuais elevadas, de orientação não preferencial, propiciando a propagação de imperfeições por fadiga, e em alguns casos, arrancamento lamelar.

É importante distinguir os cruzamentos, dos pontos de interseção entre as soldaduras longitudinais e circunferenciais que inevitavelmente existem, tanto nos componentes do corpo resistente que contêm a pressão como nos suportes.

A1.1.5 Pontos de elevação – *Lifting Lugs*

No âmbito da concepção de um qualquer equipamento, e atendendo às dimensões e pesos que os mesmos podem atingir, é necessário que sejam desenvolvidos pontos a partir dos quais possam ser manipulados. Tal aplica-se não só ao conjunto final, como também à manipulação de subconjuntos fabricados. Estes pontos são cruciais, pelo que na sua localização e distribuição ao longo do equipamento, devem garantir não só a capacidade de elevação e manipulação do total da carga, como também prever necessidades adicionais que se revelem no transporte, montagem e manutenção futura do equipamento, pelo que se justifica que os mesmos devam ser dimensionados considerando o seu regime de funcionamento com o equipamento em vazio e cheio. Alguns pormenores construtivos são representados na Figura 25.

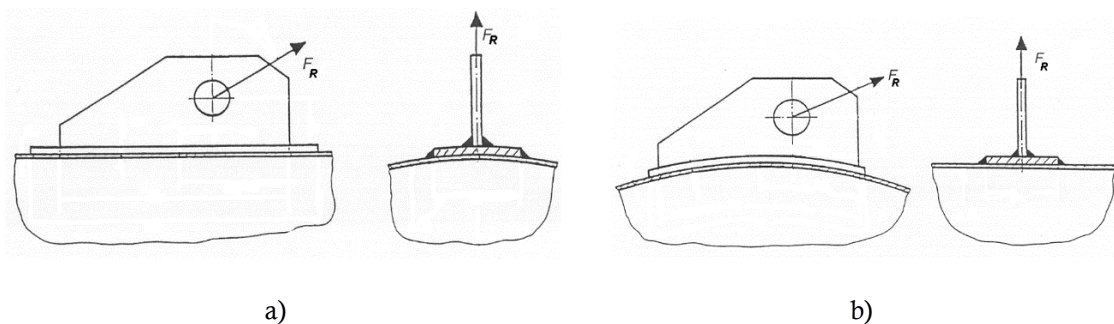


Figura 25 - Pontos de elevação com disposição longitudinal (a) [19] e tangencial (b) [19]

A1.2 Caldeiras industriais enquanto ESP

Toda e qualquer instalação industrial carece, mais ou menos a montante, de um equipamento transformador ou produtor de energia. Mesmo que este não esteja diretamente relacionado às transformações necessárias ao processo, no mínimo destinam-se ao aquecimento ambiente.

Caldeiras, nada mais são do que geradores de calor. Entende-se como caldeira, o equipamento em que os gases quentes resultantes do processo de combustão de um combustível, cedem a outro meio - normalmente um fluido dentro do corpo da própria caldeira - energia sob forma de calor, provindo dessa fonte quente [32]. Podemos considerar que uma caldeira é formada por um conjunto de vários subsistemas que coexistem, assumindo funções específicas em benefício de um propósito comum.

De forma sumária, a caldeira é composta por um sistema reservado à própria combustão, e um sistema que permita a permuta dessa energia gerada para o meio pretendido.

Na realidade é justamente a sua constituição que permite separar a caldeira de um outro qualquer permutador de calor. Por uma questão prática, trataremos daqui em diante as caldeiras como equipamentos compostos por sistema de produção e de permuta onde o fluido quente são os gases de combustão, e simplesmente por permutadores os demais sistemas que servem para transferir energia de fluidos quentes para outros, sem que os primeiros tenham proveniência na combustão de combustíveis.

Apesar do princípio de terminologia descrito, é muito frequente generalizar o conceito Caldeira. Em particular por parte dos fabricantes destes equipamentos, que tendem a classificar os equipamentos em função de um propósito e não tanto em função do princípio de funcionamento [32]. A título de exemplo, temos as Caldeiras de Recuperação.

As caldeiras de recuperação são equipamentos, cuja proveniência do fluido quente é um processo externo à própria caldeira - normalmente gases de escape de outros processos na instalação - que aproveitam, para a finalidade para a qual foram concebidas. A grande diferença reside exatamente na proveniência da energia necessária à fonte quente, neste caso externa à caldeira. No entanto são designadas igualmente como caldeiras. Nas caldeiras, tal como em qualquer outro equipamento, pretendem atingir-se os melhores rendimentos possíveis. Isso implica rentabilizar da melhor forma a energia desenvolvida pela combustão do combustível, que por sua vez implica o domínio das leis da combustão e transferência de calor [32].

Associado a esse conhecimento, é imprescindível dominar também a parte mecânica que sustenta a construção dos equipamentos, bem como todos os trâmites para a sua fabricação, instalação e operação. Não obstante, é ainda necessário compreender o ponto de vista de enquadramento legal e normativo aplicável à construção de caldeiras, qualquer que seja o seu contexto de trabalho ou tipologia. Industrialmente as caldeiras mais utilizadas, são equipamentos sob pressão, pois dependem da variação e controlo sobre esta grandeza, conjuntamente com a temperatura, para garantir um determinado propósito final, tal como se poderá constatar nos pontos seguintes.

Tecnicamente são descritas como equipamentos fechados, nos quais água ou um diferente fluido é aquecido, e gerado vapor, vapor saturado, vapor sobreaquecido ou uma combinação deles, para uso externo como fonte de energia para aplicações diversas, dependendo da capacidade envolvida [32].

A1.2.1 Principais componentes de uma caldeira industrial

As caldeiras industriais são compostas essencialmente por duas partes interdependentes a nível funcional, mas completamente distintas. A **câmara de combustão** e o **Gerador**.

A1.2.1.1 Câmara de combustão

A câmara de combustão é onde acontece a queima de combustível, e onde são produzidos os gases quentes que servirão de fonte quente. Conforme o tipo de combustível e tipo de caldeira, a câmara de combustão pode assumir diversas formas.

As câmaras de combustão com tubos de fogo corrugados (Figura 26 a)) ou lisos (Figura 26 b)) são formatos de produção simples, para soluções construtivas integrais. Fabricados a partir de chapa plana, são frequentemente utilizados em equipamentos horizontais, e constituem a fronteira interior com o gerador, podendo ou não ser integrados em câmaras de inversão [32] [33].



a)



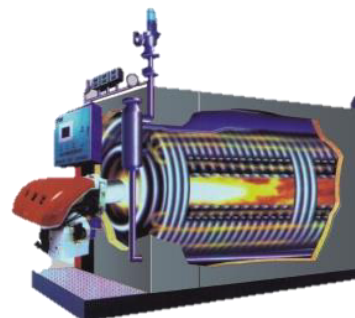
b)

Figura 26 - Tubo de fogo corrugado (a) e liso (b) em aço carbono

A região da fronteira do sistema de combustão pode, no entanto, ser fabricada a partir de tubos soldados topo a topo, enrolados em serpentinas que delimitam não só a câmara de combustão, como a sua conjugação determina o caminho pelo qual os fumos irão circular. Nestas configurações, dentro dos tubos circula o fluido a ser aquecido, e a sua configuração pode ser vertical, como se pode observar na Figura 27 a) ou horizontal como pretende ilustrar através da Figura 27 b) [32].



a)



b)

Figura 27 - Caldeira com câmara de combustão em serpentina tubular vertical (a) [34] e horizontal (b) [35]

Fornalhas, habitualmente estão associadas à queima de combustíveis sólidos como a biomassa. As fornalhas tipicamente são revestidas no seu interior por materiais refratários que podem ser aço com as características que se adequem ao regime de temperaturas, ou na forma de betão (Figura 28 a)) ou tijolo refratário (Figura 28 b))

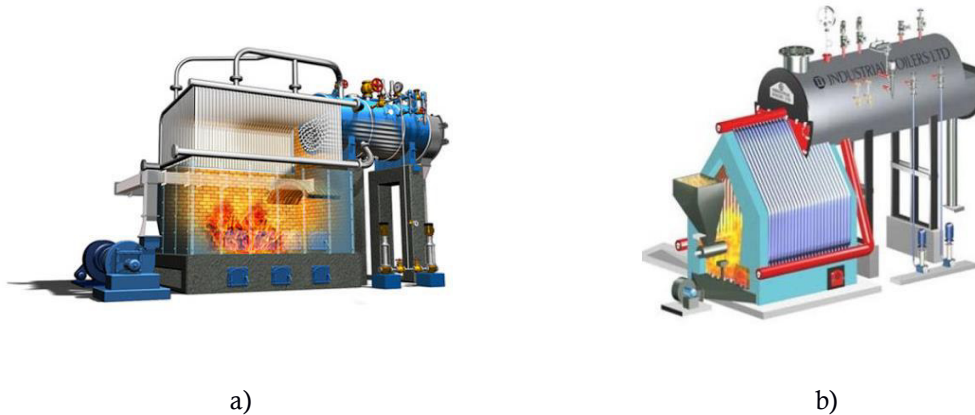


Figura 28 - Caldeira com fornalha independente em tijolo refratário (a) [36] e fornalha independente em betão refratário (b) [37]

A1.2.1.2 Gerador

O gerador é a parte responsável por conter o fluido que vai ser aquecido, e onde ocorrerá a transferência de energia térmica dos gases de combustão, para o fluido contido no interior da caldeira. O gerador, enquanto recipiente é genericamente composto pelas partes essenciais que a seguir se identificam na Figura 29.

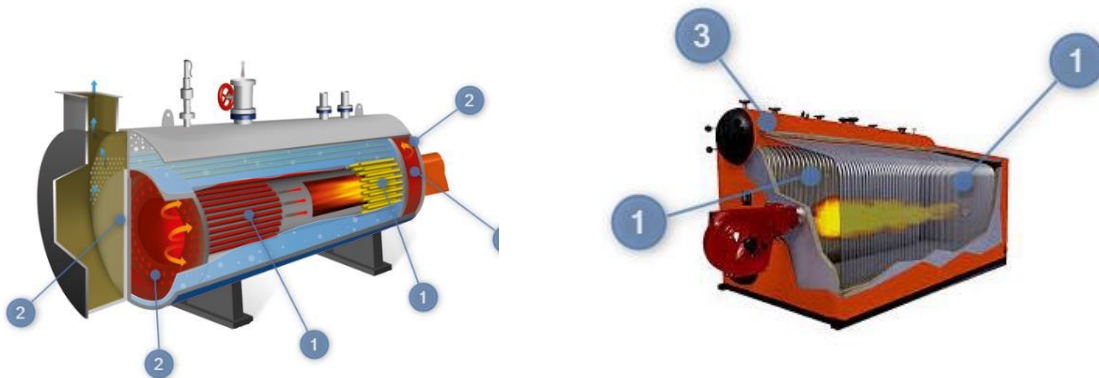


Figura 29 - Caldeira flamotubular (a) [38] e aquotubular (b) [39]

Os **Feixes Tubulares (1)** são circuitos de tubos, que podem conter fumos no seu interior destinados a aquecer o fluido exterior, designando-se a caldeira nesse caso como Piro-tubular ou Flamotubular, ou podem conter no seu interior outro fluido que não os gases de combustão, pelo que nesse caso a caldeira é designada de aquotubular. Geralmente esse fluido contido nos tubos é água ou óleo térmico com características bem especificadas para o seu regime de funcionamento.

Em caldeiras de corpo cilíndrico, horizontais ou verticais os **tampos (2)** são responsáveis por fechar a virola do corpo nas extremidades, bem como é neste componente onde é ligado o feixe tubular que constitui o permutador. Essa ligação é assegurada por expansão ou, na esmagadora maioria dos casos, por soldadura.

Possíveis de encontrar em caldeiras aquotubulares, os **coletores (3)** são o local para onde convergem normalmente feixes/paredes tubulares. Os que se encontram na parte inferior dos equipamentos são totalmente inundados, e os superiores – também chamados de barriletes - em equipamentos produtores de vapor, possuem mistura bifásica, dado que assumem a função de câmara de vapor.

A **câmara de inversão (4)** é o local onde se dá a inversão dos fumos resultantes da combustão. Há, no entanto, caldeiras, cuja primeira inversão de fumos se dá no próprio tubo de fogo, como é possível observar na Figura 30.

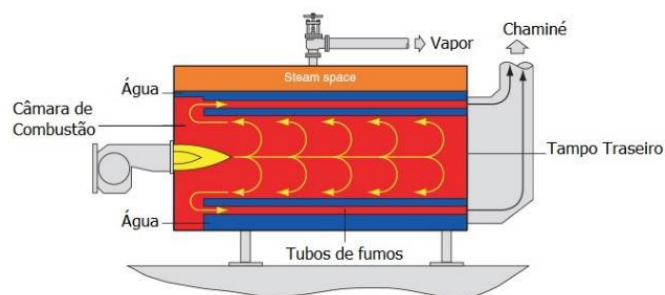


Figura 30 - Caldeira de chama reversa ou invertida [40]

A1.2.2 Classificação de caldeiras

Classificar uma caldeira, é provavelmente das tarefas mais difíceis de efetuar. São inúmeros os fatores que servem de parâmetro de destriça, para obter a designação de uma determinada caldeira.

Por este motivo apresentam-se a seguir, uma classificação não exaustiva, em função das características determinantes mais correntes neste tipo de equipamento.

A1.2.2.1 Fonte de energia

Os combustíveis utilizados para queima nas caldeiras podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. A título de exemplo: biomassa, gásóleo e gás natural, respetivamente. Ainda que existam outras fontes, como a energia nuclear, solar ou elétrica. A Figura 31 a) ilustra uma caldeira cuja fonte de energia é gás natural, ao passo que na Figura 31 b) se ilustra uma caldeira típica alimentada a energia elétrica [32].



Figura 31 - Caldeira de vapor a gás natural (a) [38] e elétrica (b) [41]

A1.2.2.2 Combustível

Os combustíveis passíveis se utilizar para a combustão em caldeiras, não obstante alterações necessárias à tipologia das mesmas, são essencialmente sólidos, líquidos ou gasosos. Os **sólidos** são essencialmente derivados do carvão e biomassas. Em virtude da forte indústria nacional no setor das madeiras e cortiça, é frequente ter como combustível o serrim ou serradura, cascas não aproveitadas da atividade de extração e transformação de madeiras, pó de cortiça, mas também outros como o caroço ou bagaço de azeitona, entre outros. Os combustíveis sólidos são especialmente interessantes tendo em conta que provêm em grande parte de desperdícios de atividades industriais, constituindo assim uma possibilidade de redução de custo energético. Os combustíveis **líquidos** utilizados são essencialmente não renováveis e de origem fóssil como o gasóleo, *Thin Fuel Oil* e *Thick Fuel Oil*. O consumo de combustíveis **gasosos** para queima em caldeiras industriais, assenta essencialmente em gás natural, embora possam ser utilizados outros derivados do petróleo como o gás butano e propano [32].

A1.2.2.3 Número de passagens

O conceito “passagem” sumariamente define o trajeto que o fluido quente, geralmente fumos, percorre entre inversões de sentido. São possíveis várias combinações no design do equipamento de forma a permitir várias “passagens”. No entanto as configurações mais comuns são de **duas passagens** ou **três passagens**, conforme o número de câmaras de inversão. Para melhor se compreender descrito apresentam-se esquematizadas na Figura 32 as diferentes disposições construtivas, no âmbito de caldeiras flamotubulares [32] [42].

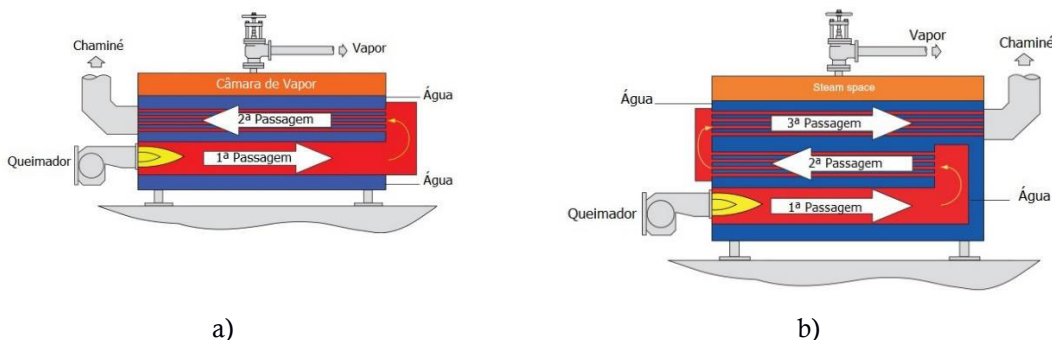


Figura 32 - Caldeira de duas passagens (a) [40] e três passagens de gases (b) [40]

A1.2.2.4 Câmara de combustão e queimadores

A câmara de combustão de uma caldeira, pode ser constituída por um tubo de fogo, acoplado ou não a uma câmara de inversão, por feixes ou paredes tubulares, ou fornalhas. No primeiro caso, o equipamento de queima, são **queimadores** de injeção mecânica ou copo rotativo que trabalham com uma gama menos alargada de combustíveis e em condições necessariamente bem controladas (Figura 33 a)). No caso particular das fornalhas os equipamentos de queima são grelhas fixas ou grelhas móveis (Figura 33 b)) [32].

As grelhas fixas são equipamentos de queima estáticos, vocacionados para a combustão a partir de combustíveis sólidos de granulometria indiferenciada e diversos teores de humidade. A grelha pode ser horizontal ou inclinada de forma a facilitar a distribuição do combustível por gravidade ao longo da superfície da grelha. A alimentação do combustível pode ser efetuada de forma manual ou automática. As grelhas móveis são equipamentos de queima mecânicos, com o mesmo objetivo das grelhas fixas. No entanto são frequentemente utilizados em conjunto com sistemas doseadores de admissão de combustível como tremonhas e válvulas rotativas ou sem-fins de alimentação automatizados.



a)



b)

Figura 33 - Queimador de injeção mecânica a gás Weishaupt (a) [43] e grelha móvel (b) [44]

Caldeiras com sistemas de queima do tipo queimador, representam um exemplo característico de **câmara de combustão interior**, visto que a queima do combustível se dá dentro do corpo do próprio gerador, especificamente na câmara de combustão. A solução de sistema de queima do tipo fornalha, já referida anteriormente, é ilustrativa do tipo de **câmara de combustão exterior** [32].

Consideram-se caldeiras **sujeitas à ação de chama**, as que possuem câmara de combustão interior como mostrado, dado que a chama contacta diretamente o interior do equipamento. Consideram-se caldeiras **não sujeitas a ação de chama**, as que possuem câmara de combustão exterior ao corpo do gerador.

A1.2.2.5 Conteúdo dos tubos ou feixes tubulares

Quando no interior dos tubos circulam **fumos** como produto de combustão, as caldeiras assumem várias designações, nomeadamente, Fumotubulares, Flamotubulares ou Piro-tubulares. Quando no interior dos tubos circula **água**, a ser aquecida igualmente a partir da combustão do combustível, as caldeiras designam-se de aquotubulares. Estas podem atingir condições de elevadas pressões e temperatura de forma a sofrer alterações de fase da água, ou apenas ser aquecida mantendo o estado líquido. No caso de circular óleo no interior dos tubos, são designadas de caldeiras de óleo térmico. Os óleos térmicos geralmente operam em condições de temperatura muito específicas, que são definidas pelos fabricantes [32].

A1.2.2.6 Câmara de inversão

A camara de inversão do tipo **molhada** ou também apelidada de **inundada**, ou *Wet Back*, pressupõe que a mesma esteja totalmente envolvida em água, geralmente no interior da caldeira, no entanto é possível construir caldeiras com câmara de inversão seca ou *dry-back* que pressupõe justamente que a mesma não tenha contacto com água (ver Figura 34). A proteção deste componente contra sobreaquecimentos, pode ser feita com recurso à utilização de aços ou outros materiais refratários, ou materiais com propriedades que garantam resistência adequada à temperatura dos fumos naquela zona [40].

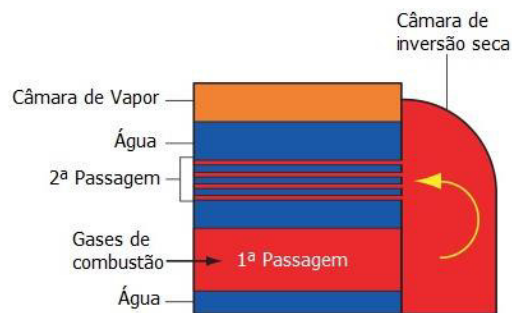


Figura 34 - Caldeira de duas passagens com câmara de inversão seca [41]

Uma caldeira de vapor deve ser caracterizada, pelo menos, com base nos seguintes parâmetros:

- Fluido a Aquecer;
- Pressão de Serviço
- Combustível a queimar
- Potência térmica a produzir
- Superfície de Aquecimento
- Capacidade
- Rendimento Térmico

A1.3 Requisitos aplicáveis à construção de caldeiras industriais

A construção de caldeiras industriais, que são simultaneamente equipamentos sob pressão, pelo regime em que operam e para o qual são desenvolvidas, está balizada pela necessidade de atender a diversos requisitos que afetam diretamente o seu projeto, fabrico e instalação. Este conjunto de requisitos existe essencialmente sob forma de lei, regulamentos ou normas.

As normas de um modo geral constituem um contributo inegável nas nossas vidas, embora seja um contributo impercetível para a generalidade dos cidadãos. No fundo, constituem um conjunto organizado de conhecimentos e práticas, que quando aplicadas garantem ao objetivo, a uniformidade no seu campo de aplicação. A vida certamente não seira tal como a conhecemos, se não existissem normas na sua base. Basta pensar como seria se, pela inexistência de normas, qualquer fabricante pudesse projetar, produzir,

instalar e disponibilizar no mercado as suas soluções de acordo com as suas próprias regras e convicções [45]. Habitualmente desconhecemos ou relativizamos a importância desempenhada pelas normas, como um instrumento de melhoria da qualidade, eficiência, segurança e interoperabilidade no desenvolvimento de soluções, ou até mesmo como ferramenta de aumento da vantagem competitiva entre as organizações [45]. O mais comum é não explorar a aplicação de normas proactivamente, como um fator de melhoria competitiva e performance de empresas e produtos, e encarar a questão numa ótica de tentar procurar cair nas exclusões da aplicação de determinado código, e aplicar o menos possível as práticas mencionadas, dado que incluir requisitos quase sempre significa incluir custos.

Qualquer norma é considerada uma referência idónea, transversal e imparcial no mercado a que se destina. É por esse motivo que é usada como base a processos de legislação, acreditação e certificação, bem como serve como compilação de informação técnica de suporte e uso confiável, na sua aplicabilidade a produtos, pessoas ou agentes e relações que todos eles possam ter. As normas são de carácter facultativo, e de aplicação voluntária. Exceção a esta regra, estão todos os casos onde exista um qualquer diploma legal que torne o seu cumprimento obrigatório [45].

No campo de aplicação dos equipamentos sob pressão, atualmente em Portugal prevalece, a obrigatoriedade do cumprimento com mencionado na Diretiva 2014/68/EU de 15 de maio de 2014, especificamente relativa à harmonização da legislação dos Estados Membros respeitante à disponibilização de equipamentos sob pressão no mercado. A Diretiva 2014/68/EU, publicada no Jornal Oficial da União Europeia a 27 de junho de 2014, surge da alteração à anterior diretiva 97/23/CE de 29 de maio de 1997, publicada em 9 de julho de 1997, e transposta para o direito nacional português através do Decreto-Lei 211/99 em 29 de maio de 1999 relativa ao mesmo âmbito, ou seja, aproximação das legislações dos estados-membros sobre os equipamentos sob pressão. Todavia a obrigatoriedade formal do uso da anterior diretiva, iniciara-se apenas em 29 de maio de 2002 [46] [47].

No que diz respeito à atual diretiva, sobre a qual incidiremos também este estudo, apesar de a sua assinatura datar de 15 de maio de 2014 a sua publicação oficial ocorreu em 27 de junho de 2014, seguindo-se uma transposição parcial do Artigo 13º em 1 de junho de 2015, conforme previsto no Decreto Lei 32/2015 de 4 de março do mesmo ano, com efeitos a partir de 19 de julho de 2016. Data a partir do qual se extingue totalmente a diretiva anterior, e em que a atual assume o seu pleno [48]. A necessidade de atribuir força de lei à nova diretiva, concretiza-se com o Decreto Lei nº. 111-D/2017 que até hoje vigora. Para melhor articulação do descrito anteriormente, pode observar-se na Figura 35 o calendário relativo à transposição entre diretivas [49].



Figura 35 – Timeline da transposição da diretiva

A Diretiva Equipamentos Sob Pressão, à semelhança das demais, existe com o propósito de suprimir as barreiras técnicas que constituam obstáculo às trocas comerciais no espaço económico europeu, harmonizando as legislações de cada país pertencente à comunidade europeia, no que diz respeito ao

projeto, fabrico e mecanismos para verificação e constatação da conformidade relativa aos equipamentos por ela abrangidos. Os equipamentos abrangidos pela diretiva, após a sua transposição para o direito nacional, devem necessariamente estar conformes e de acordo com as orientações técnicas e de segurança da própria diretiva, bem como ter aposta a marcação CE, como expoente da garantia da conformidade.

Decorrente da interpretação do termo “disponibilização de equipamentos sob pressão no mercado”, e necessário que se compreenda que o “mercado” no ceio da União Europeia, compreende um espaço sem fronteiras internas em que deve, como pressuposto, ser assegurada a livre circulação de bens, pessoas, serviços e capitais. A forma de eliminar os entraves às trocas necessárias entre as comunidades, prende-se justamente com o recurso à harmonização das legislações nacionais. Neste caso, a diretiva deverá harmonizar concretamente as disposições nacionais no que se refere aos riscos devidos à pressão. Outros riscos que existam na operação e funcionamento do equipamento, são eventualmente, alvo do âmbito de outras diretivas comunitárias que tratam esses mesmos riscos.

Esta diretiva abrange todos os equipamentos sob pressão, ou conjuntos compostos por vários equipamentos sob pressão reunidos para formar um todo integrado e funcional, produzidos por um fabricante sediado na União Europeia. Estão incluídos no âmbito, equipamentos sob pressão ou conjuntos novos ou em segunda mão, de proveniência na própria união, ou importados de um país terceiro, cuja pressão máxima admissível (PS) seja superior a 0,5 bar. Pelo que, conseqüentemente, a presente diretiva é aplicável aos equipamentos sujeitos a uma pressão máxima admissível (PS) superior a 0,5 bar [46]. Segundo a diretiva, os equipamentos cuja pressão máxima admissível (PS) seja inferior ou igual a 0,5 bar, não apresentam riscos significativos relacionados com a pressão, e por esse motivo não poderá ser interdita a sua circulação no espaço económico europeu. Os conjuntos de equipamentos sob pressão, podem ir desde um conjunto simples como uma panela de pressão, até um conjunto complexo como uma caldeira tubular. Salva-se que, não está abrangida a montagem de equipamentos sob pressão nas instalações de um qualquer utilizador, que não o fabricante [46].

A regulamentação destinada a ultrapassar entraves técnicos às trocas comerciais no espaço económico europeu, bem como a conseqüente incerteza para os operadores económicos, assenta na designada “nova abordagem”, expressão por que é conhecida a resolução do conselho, de 7 de maio de 1985. Esta resolução teve como principal objetivo desenvolver uma abordagem em termos de harmonização técnica e de normalização através do estabelecimento de disposições regulamentares aplicáveis a sectores, produtos, ou família de produtos, assim como aos seus riscos potenciais. Desta forma, a resolução determina um conjunto de princípios fundamentais aplicáveis aos estados membro, tendo em vista satisfazer duas condições essenciais. Em primeiro que as normas assegurem uma garantia de qualidade do produto conforme, e em segundo que os poderes políticos devem zelar pela proteção segura do território. Condição necessária para estabelecer a confiança mútua entre os próprios estados-membro [50] [51].

A decorrente necessidade de operacionalização das condições anteriormente referidas, preconiza que a Comissão Europeia confie mandatos de normalização, aos organismos europeus de normalização conforme orientações de admissibilidade e operacionalidade. Quando se verifique uma ausência de normas europeias aplicáveis a um determinado âmbito, servirão se existirem, as normas nacionais que serão verificadas por procedimentos a nível europeu, cuja gestão é assegurada pela própria Comissão Europeia, assessorada por um comité permanente de responsáveis das administrações nacionais. De notar que existem procedimentos que permitem a contestação, quando se justifique e por parte das administrações nacionais, sobre a conformidade de um produto ou a qualidade de uma norma. Todavia, o âmbito de aplicação de uma diretiva é definido por diversas categorias de produtos e/ou por tipos de riscos por ela cobertos. À luz de uma diretiva de nova abordagem, importa que os Estados Membros prevejam a harmonização técnica e de normalização, que garanta a livre circulação e imponha uma definição de requisitos de carácter social, sem prejuízo ou redução dos níveis de proteção justificados e em vigor nos próprios estados membros [51]. Apresenta-se na Tabela 1 a listagem de diretivas e regulamentos, seu objeto e a legislação que as transpõe para o direito nacional.

Tabela 1 - Quadro de diretivas e regulamentos europeus nova abordagem [52]

Diretiva/Regulamento	Objeto da diretiva	Legislação Nacional que transpõe a diretiva
2009/142/CE	Aparelhos a gás	DL 25/2011
2013/29/UE	Artigos de Pirotecnia	DL 135/2015
2014/33/UE	Ascensores	DL 295/98
93/42/CEE	Dispositivos médicos	DL 145/2009
98/79/CE	Dispositivos médicos diagnósticos in vitro	DL 189/2000
2009/125/CE	Ecodesign	DL 12/2011
2005/88/CE	Embarcações de recreio e motas e água	DL 26-A/2016
2014/34/UE	Aparelhos e Sistemas de proteção para uso em atmosferas potencialmente explosivas (ATEX)	DL 111-C/2017
2014/68/UE	Equipamento sob pressão	DL 111-D/2017
89/686/CEE	Equipamentos de proteção individual - EPI.	DL 128/93
2014/53/UE	Equipamentos de rádio e terminais de telecomunicações	DL 192/2000
2014/90/UE	Equipamentos marítimos	DL 63/2017
92/42/CE	Caldeiras de água quente alimentadas com combustíveis líquidos ou gasosos	DL 136/94
2014/28/UE	Explosivos para uso civil	DL 9/2017
2000/9/CE	Instalações por cabo para transporte de pessoas	DL 313/2002
2014/32/UE	Instrumentos de medição	DL 71/2011
2014/31/UE	Instrumentos de pesagem não automáticos	DL 43/2017
2014/30/EU	Compatibilidade eletromagnética	DL 325/2007 DL 31/2017
2014/35/UE	Material elétrico de baixa tensão	DL 21/2017
Regulamento (UE) 305/2011	Produtos de construção	DL 130/2013
2014/29/UE	Recipientes sob pressão simples	DL 37/2017

Tabela 1 - Quadro de diretivas e regulamentos europeus nova abordagem [52] (continuação)

Diretiva/Regulamento	Objeto da diretiva	Legislação Nacional que transpõe a diretiva
2010/30/EU	Rotulagem energética	DL 27/2010
2006/42/CE	Segurança de máquinas	DL 103/2008
2009/48/CE	Segurança dos brinquedos	DL 43/2011
90/385/CEE	Dispositivos médicos implantáveis ativos	DL 145/2009

Os organismos competentes para a adoção de normas europeias harmonizadas no âmbito de uma diretiva são o CEN - Comité Europeu de Normalização e o CENELEC - Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica. Podem, no entanto, ser admitidos outros organismos europeus competentes, no que diz respeito à contribuição na elaboração das especificações técnicas, para um determinado setor específico. De registar que, a pedido do próprio CEN e CENELEC, foram adotadas as séries de normas EN 45000, tendo em vista determinar a competência de terceiros na avaliação da conformidade. Os produtos que sejam abrangidos por uma qualquer diretiva vigente, só poderão ser disponibilizados no mercado se não comprometerem a segurança das pessoas e bens. Ainda que a filosofia das diretivas, seja a tentativa de harmonização total, não se exclui a sobreposição de diferentes diretivas relativas a diferentes tipos de risco ou mitigação dos mesmos, para uma mesma categoria de produtos, pelo que uma observância mais ampla deve ser sempre considerada [51].

A1.4 Presunção da conformidade

A obrigatoriedade da aposição da marcação CE de um produto, nos produtos abrangidos, prende-se com uma necessária presunção de conformidade. Os estados membros presumem a conformidade dos produtos, conforme o cumprimento com um dos meios de certificação previstos por uma diretiva, que declare a conformidade com normas harmonizadas, ou na ausência destas, e como já mencionado, com normas nacionais que assegurem adequadamente a conformidade de determinado requisito. Na hipótese de se considerar que uma determinada norma harmonizada, não contempla ou satisfaz determinada exigência essencial, a Comissão socorre-se do Comité, ficando este responsável por emitir um parecer que pode surgir sob forma de revisão ao conteúdo existente, geralmente sob forma de adenda ou relatório técnico complementar, ou mesmo levar à supressão do conteúdo existente e lançamento de uma nova norma [51].

A nova abordagem previa já em 1985, que um determinado estado membro que verifique que um produto é suscetível de comprometer a segurança, possa tomar diligências adequadas à sua retirada do mercado, ou proibir a sua comercialização. Isto poderá acontecer, mesmo que o produto seja acompanhado de um certificado de conformidade. No entanto, se tal ocorrer, terá por obrigação comunicar à comissão europeia as medidas tomadas, especificando os motivos da decisão de forma tecnicamente adequada e fundamentada. Após um acontecimento desta natureza, a comissão consulta os demais estados membros e o Comité, para determinar se a ação foi ou não justificada em fundamento, e se o parecer for favorável, a comissão assumirá a responsabilidade de informar os demais estados membros, no sentido de proibir também nos restantes mercados nacionais a disponibilização do produto em questão [51].

Os meios de certificação tradicionalmente aceites, e a que os fabricantes poderão recorrer são os que derivam da conformidade atestada e com certificados emitidos por uma terceira parte, os que pressupõe resultados de ensaios efetuados também por uma terceira parte e as declarações de conformidade emitidas pelo próprio fabricante, que assentam nos pressupostos e obrigatoriedade de cumprimento com sistemas de gestão e controlo de qualidade, de produto ou organizacionais, que sejam mantidos válidos e que estejam também eles certificados por entidades competentes. Outros meios de certificação são aceites, desde que mencionados especificamente na diretiva aplicável a determinado contexto.

Os organismos nacionais competentes para emissão de um certificado de conformidade são indicados pelo estado membro à comissão, bem como aos seus pares. Estes devem executar o exercício das suas funções em conformidade com as orientações da ISO - Organização Internacional de Normalização, cabendo a cada estado membro a vigilância pelo bom funcionamento de cada organismo competente [51]. As diretivas setoriais, como a diretiva de equipamentos sob pressão, são geridas por um comité permanente assistido por peritos ou conselheiros especialistas no tema, que se concentram no campo de aplicação da diretiva.

Deve ter-se em mente que a necessidade da elaboração ou adoção de uma nova diretiva, justifica-se quando esta venha a resolver problemas em um considerável número de produtos, que não seja passível de alterações frequentes devendo abarcar sempre que possível, gamas de produtos que pela sua homogeneidade permitam definir exigências essenciais comuns, permitindo e contemplando sempre a distinção entre exigências essenciais e especificações de fabrico, no sentido prático do termo.

Como vimos a observância dos requisitos essenciais de segurança é fundamental, não obstante estes dividem-se conforme propósito da diretiva, em requisitos de carácter geral e específico que os equipamentos sob pressão devem observar [46]. No sentido de facilitar a tarefa de comprovação da observância dos requisitos essenciais, são necessárias normas harmonizadas a nível europeu, nomeadamente no que diz respeito a atividades de Projeto, Fabrico e Inspeção e Ensaio. A utilização destas normas nas etapas mencionadas, remete para a necessária presunção da conformidade e, portanto, aposição da Marcação CE de um produto, conforme esquematizado na Figura 36.

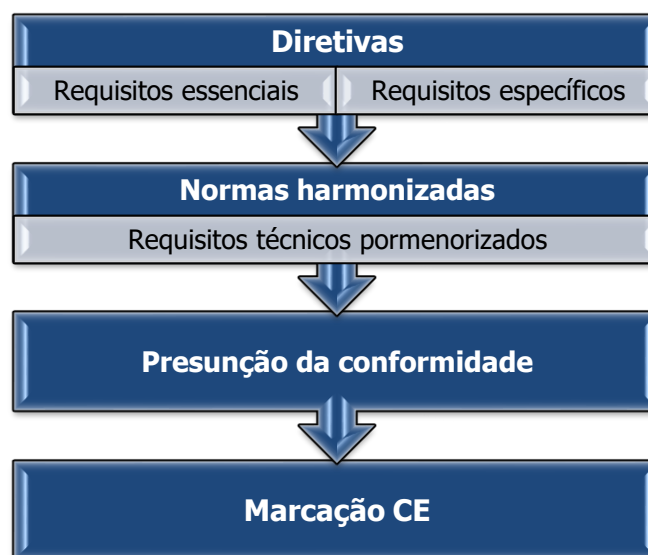


Figura 36 - Metodologia para obtenção da presunção de conformidade

É, portanto, inegável que os princípios da designada nova abordagem permitiram construir uma base do sistema de normalização europeia, favorável à harmonização da união. Objetivamente a função das normas harmonizadas bem com as responsabilidades das organizações de normalização encontram-se definidas no Regulamento nº 1025/2012 [53]. Pelas necessidades e razões já elencadas, os equipamentos

sob pressão devem ostentar a marcação CE, aposta pelo seu fabricante ou seu mandatário estabelecido na comunidade europeia. Esta deve cumprir regras específicas de aposição, não só quanto aos pressupostos de conformidade implícitos como nas regras de etiquetagem no próprio produto ou embalagem, incluído no respeito ao grafismo da sigla, como se ilustra na Figura 37. A marcação deve obrigatoriamente ser visível, legível e indelével cabendo aos seus usuários garantir estas características, especificamente no que diz respeito aos seus produtos [46].

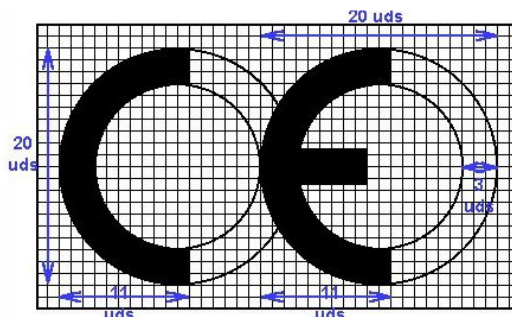


Figura 37 - Grafismo normalizado da marcação CE [54]

É fundamental que se entenda que nem todos os produtos devem ter aposta a marcação. Esta marcação apenas é obrigatória para produtos ao abrigo de uma diretiva da nova abordagem, anteriormente explicitada. É, aliás, proibido apor a marcação CE em outros produtos. Por outro lado, a aposição da marcação é condição necessária, mas não suficiente para a presunção da conformidade CE de um produto. Em 2002, a comissão europeia lançou um enorme processo de consulta quanto à necessidade de reflexão sobre a aplicação da nova abordagem, chegando a formalizar em 7 de maio de 2003 uma necessidade de revisão de elementos da designada nova abordagem. Fruto do consenso de atualização a que os estados membros chegaram, foi definido que os principais elementos a analisar seriam a coerência e consistência globais, o processo de notificação, acreditação, os módulos de avaliação da conformidade, a marcação CE e a fiscalização do mercado. Deste processo surgiram o Regulamento n.º 765/2008 e a decisão n.º 768/2008/CE, que conduziram ao designado NQL - Novo Quadro Legislativo [51] ou *NLF - New Legislative Framework*.

Enquanto que o regulamento permitiu estabelecer a base jurídica para a acreditação e fiscalização do mercado, consolidando o significado da marcação CE, a decisão atualizou, harmonizou e consolidou os diversos instrumentos técnicos já existentes na legislação de harmonização, e não só nas diretivas nova abordagem [55]. O NQL tem em conta a existência de todos os operadores económicos da cadeia, nomeadamente fabricantes, mandatários, distribuidores e importadores, bem como a sua função relativamente ao produto. Atualmente todas as partes interessadas referidas têm funções claras e definidas. No contexto dos equipamentos sob pressão são as que se especificam a seguir [46]:

- ✓ **Fabricante:** uma pessoa singular ou coletiva que fabrica um equipamento sob pressão ou um conjunto, ou que manda projetar ou fabricar esse equipamento sob pressão ou esse conjunto, e que o comercializa em seu nome ou sob a sua marca, ou que o utiliza em proveito próprio.
- ✓ **Mandatário:** pessoa singular ou coletiva, estabelecida na União, mandatada por escrito pelo fabricante para praticar determinados atos em seu nome;
- ✓ **Distribuidor:** uma pessoa singular ou coletiva integrada no circuito comercial, com exceção do fabricante ou do importador, que disponibiliza equipamentos sob pressão ou conjuntos no mercado;
- ✓ **Importador:** uma pessoa singular ou coletiva, estabelecida na União, que coloca equipamentos sob pressão ou conjuntos provenientes de um país terceiro no mercado da União;

Na prática o NQL alterou a tónica da legislação em relação ao acesso ao mercado. Anteriormente, a preocupação centrava-se na “colocação no mercado”, e passou a ser direcionada para a “disponibilização de um produto”, atribuindo suma importância no que acontece após a sua primeira disponibilização.

É precisamente a introdução do conceito de disponibilização que facilita a rastreabilidade de um produto até ao seu fabricante, sendo a conformidade avaliada no que respeita aos requisitos legais aplicáveis no momento da primeira disponibilização. A mais importante alteração introduzida pelo NQL, foi a introdução de uma política global em termos de fiscalização que antes estava essencialmente orientada para o cumprimento de requisitos afetos a produtos aquando da sua colocação no mercado, e passou a atribuir igual importância aos aspetos relativos à execução durante todo o ciclo de vida dos produtos. Este novo alinhamento, afetou naturalmente as diretivas da nova abordagem, e em particular no que respeita aos equipamentos sob pressão constituiu uma das razões para a extinção da anterior diretiva 97/23/CE, em benefício da nova diretiva 2014/68/CE, ambas já mencionadas anteriormente. Os Regulamentos, Decisões e Diretivas Europeias são atos legislativos com propósitos e finalidades diferentes, podendo resumir-se da seguinte forma:

- ✓ **Regulamentos:** são comparáveis a leis nacionais, não sendo de aplicação obrigatória em toda a comunidade europeia de forma transversal. Passam a ter força de lei, quando os transcritos para o direito nacional de cada país.
- ✓ **Decisões:** são respeitantes a temas concretos, sendo aplicáveis à entidade individual ou coletiva a que se destina.
- ✓ **Diretivas:** fixam objetivos e resultados a atingir, sem no entanto, enunciar especificamente o caminho para lá chegar. Deixam assim margem para que cada estado membro trace o caminho, necessariamente adequado ao seu contexto, através de legislação nacional.

Outra das razões para a alteração à anterior diretiva foi a necessidade de inclusão do novo Regulamento n.º 1272/2008 de Classificação, Rotulagem e Embalagem de Substâncias e Misturas [46], no âmbito da diretiva de equipamentos sob pressão, e da aproximação das legislações existentes, visto que a anterior diretiva afeta ao mesmo tema, em 1 de junho de 2015, foi revogada. Esta razão atinge de uma forma direta, a classificação dos fluídos de trabalho dos equipamentos sob pressão, necessária à aplicação da avaliação da conformidade dos equipamentos [56].

A1.5 Avaliação da conformidade

A avaliação da conformidade é o processo de verificação, através do qual se demonstra o cumprimento com determinados requisitos específicos, que sejam aplicáveis a um produto. Esta tarefa é da responsabilidade do fabricante. No contexto da aplicação deste processo, o produto é submetido a uma avaliação da sua conformidade durante a fase da sua conceção/projeto e durante a fase de produção. Ao abrigo do NQL, existem fundamentalmente dois aspetos chave em cada ato legislativo relativo a produtos. Em primeira instância, os requisitos regulamentares que regem as características dos produtos, e posteriormente os procedimentos de avaliação da sua conformidade que forem adotados pelos fabricantes, para demonstrar que um produto está conforme, antes da sua colocação no mercado.

No contexto da aplicação de uma diretiva, a avaliação da conformidade não deve ser confundida com atos de fiscalização do mercado, no âmbito de controlo por parte das autoridades nacionais de fiscalização depois da sua disponibilização no mercado. Muito embora, a fiscalização por parte destas entidades possa igualmente ser necessária para assegurar a proteção do interesse público, e o bom funcionamento do mercado [51] [55].

Decorrente da publicação da decisão n.º 768/2008/CE, os procedimentos de avaliação da conformidade são compostos por um ou dois módulos de avaliação. Visto que os produtos são

submetidos a avaliação quer na fase de concepção quer na fase de fabrico, um procedimento de avaliação abrange as duas fases, enquanto que um módulo pode abranger uma dessas fases (quando um procedimento de avaliação é composto por dois módulos), ou ambas as fases (quando um procedimento de avaliação é composto por um só módulo) [55].

A intenção por detrás da conformidade com base na seleção de módulos, tem como objetivo limitar o número de procedimentos possíveis de se utilizar para o mesmo âmbito, colocando ao fabricante a opção de escolha, mas dentro do que já se encontre instituído e aceite na comunidade. De certa forma esta metodologia, quando cumprida rigorosamente confere uma conformidade de produto mais transparente. Os principais intervenientes na avaliação da conformidade são, além da própria legislação e dos fabricantes, os organismos notificados para o efeito, sendo que a presença deste último não retira a responsabilidade ao fabricante, bem como nem sempre é requerida.

Na realidade existem três possibilidades relativamente aos intervenientes, na ótica da disponibilização no mercado de um produto conforme. A primeira das formas, consiste na dispensa de intervenção de terceiros, bastando uma declaração, documentação técnica adequada e ensaios por parte do fabricante, para garantir a conformidade dos produtos. A segunda forma possível consiste na intervenção de uma unidade interna que faz parte da organização do fabricante, com competências suficientes e independente dos demais processos organizacionais como o projeto ou a produção. A última forma assenta na intervenção de um organismo e avaliação da conformidade externo totalmente imparcial e independente do fabricante [51] [55]. O processo de avaliação da conformidade, e seus intervenientes correlacionam-se conforme sugerido na Figura 38.

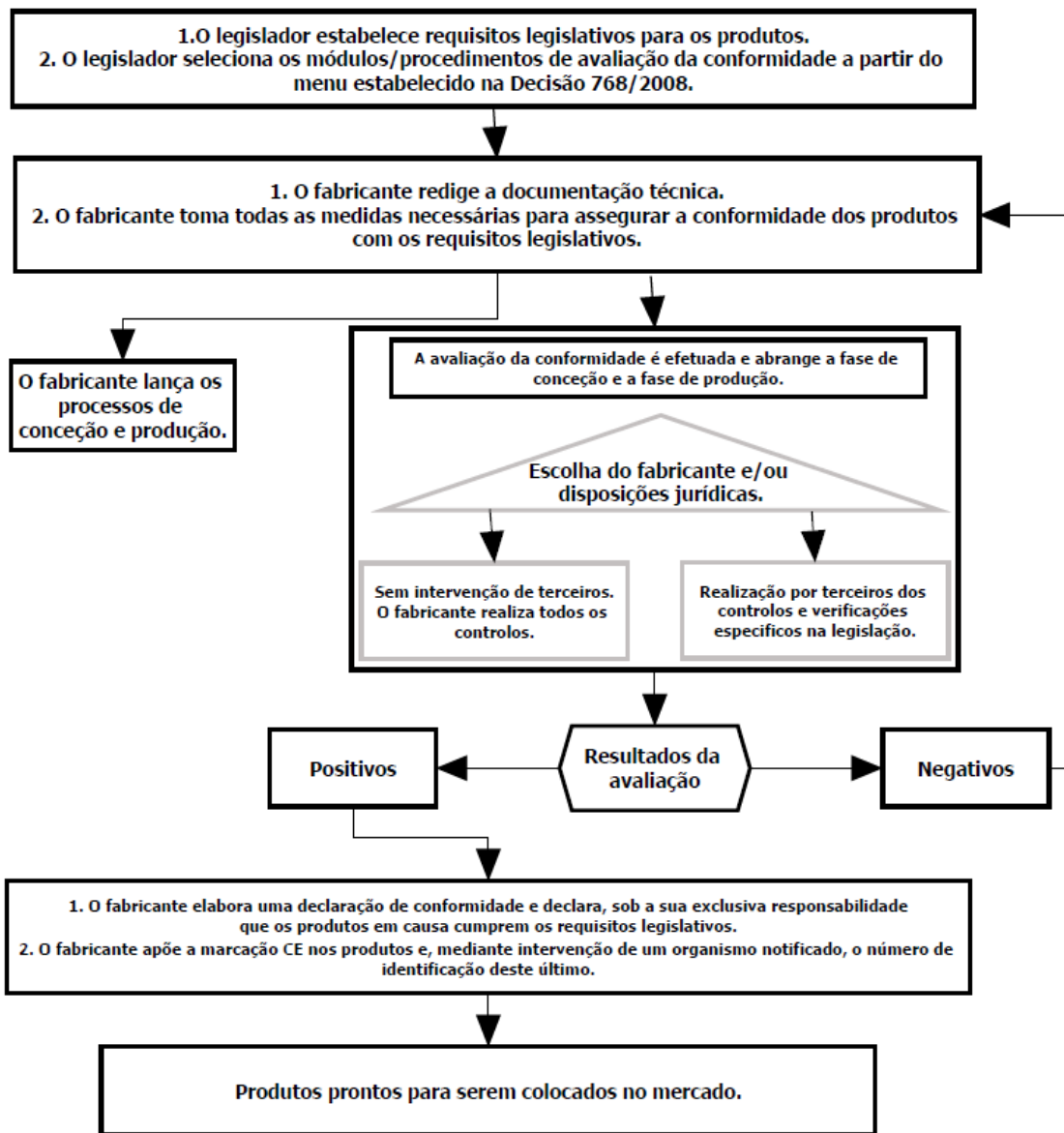


Figura 38 – Ilustração do processo de avaliação da conformidade [51]

Existem oito módulos de avaliação da conformidade, do A ao H, que determinam as responsabilidades dos fabricantes, bem como o nível de envolvimento por parte dos organismos notificados. Alguns módulos possuem variantes que têm por objetivo ser direcionados a situações de carácter mais específico, evitando a aplicação de regras mais onerosas sempre que se justifique.

Existem casos em que conformidade envolve duas etapas, uma de validação de uma amostra representativa da produção ou da conceção de um produto, comumente designado de Exame UE de Tipo, e em seguida a determinação da conformidade dos produtos fabricados relativamente à amostra aprovada originalmente. Sempre que estivermos perante um cenário deste tipo, o primeiro módulo é sempre o B.

Nos casos em que sejam utilizados na base da utilização dos módulos, sistemas de garantia da qualidade devidamente certificados, para avaliação da conformidade estaremos perante os módulos D, E e H, bem como as suas variantes. O fabricante pode presumir conformidade com os módulos com base na utilização das normas ISO 9000 e ISO 9001, desde que as especificidades dos produtos em causa

estejam convenientemente incluídas no seu âmbito de utilização e certificação [51] [55]. Isto na prática significa que é conferida ao fabricante a possibilidade de utilizar um sistema de gestão aprovado para demonstrar a conformidade com os requisitos regulamentares, sendo que esse sistema é avaliado por um organismo notificado para o efeito.

Na Tabela 2 apresenta-se um resumo dos módulos de avaliação da conformidade possíveis de ser utilizados no âmbito de uma diretiva.

Tabela 2 - Módulos de Avaliação da Conformidade [51]

Módulo	Domínio
A - Controlo interno da produção	Abrange a conceção e a produção. O próprio fabricante assegura a conformidade dos produtos com os requisitos legislativos (não implica nenhum exame UE de tipo).
A1 - Controlo interno da produção e ensaio supervisionado do produto	Abrange a conceção e a produção. Módulo A + ensaios a aspetos específicos do produto realizados por uma unidade interna acreditada ou sob a responsabilidade de um organismo notificado escolhido pelo fabricante.
A2 - Controlo interno da produção e controlos supervisionados do produto a intervalos aleatórios	Abrange a conceção e a produção. Módulo A + controlos do produto a intervalos aleatórios efetuados por um organismo notificado ou por uma unidade interna acreditada.
B - Exame UE de tipo	Abrange a conceção. É sempre seguido de outros módulos através dos quais a conformidade dos produtos com o tipo UE aprovado é demonstrada. Um organismo notificado examina a conceção técnica e/ou a amostra de um tipo e verifica e atesta a conformidade com os requisitos do instrumento legislativo aplicável mediante a emissão de um certificado de exame UE de tipo. Existem três maneiras de efetuar um exame UE de tipo: 1) tipo de produção, 2) combinação do tipo de produção e do tipo de conceção e 3) tipo de conceção.
C - Conformidade com o tipo baseada no controlo interno da produção	Abrange a produção e segue-se ao módulo B. O fabricante deve controlar a sua produção a nível interno a fim de assegurar a conformidade dos produtos com o tipo UE aprovado no âmbito do módulo B.
C1 - Conformidade com o tipo UE baseada no controlo interno da produção e ensaio supervisionado do produto	Abrange a produção e segue-se ao módulo B. O fabricante deve controlar a sua produção a nível interno a fim de assegurar a conformidade dos produtos com o tipo UE aprovado no âmbito do módulo B. Módulo C + ensaios a aspetos específicos do produto realizados por uma unidade interna acreditada ou sob a responsabilidade de um organismo notificado escolhido pelo fabricante
C2 - Conformidade com o tipo UE baseada no controlo interno da produção e controlos supervisionados do produto a intervalos aleatórios	Abrange a produção e segue-se ao módulo B. O fabricante deve controlar a sua produção a nível interno a fim de assegurar a conformidade dos produtos com o tipo UE aprovado no âmbito do módulo B. Módulo C + controlos do produto a intervalos aleatórios e ensaios a aspetos específicos do produto efetuados por um organismo notificado ou por uma unidade interna acreditada.
D - Conformidade com o tipo UE baseada na garantia da qualidade do processo de produção	Abrange a produção e segue-se ao módulo B. O fabricante aplica um sistema de garantia da qualidade da produção (parte relativa ao fabrico e inspeção do produto final) a fim de assegurar a conformidade com o tipo UE. O organismo notificado avalia o sistema de qualidade.
D1 - Garantia da qualidade do processo de produção	Abrange a conceção e a produção. O fabricante aplica um sistema de garantia da qualidade total da produção (parte relativa ao fabrico e inspeção do produto final) a fim de assegurar a conformidade com os requisitos legislativos (não implica o tipo UE, o módulo é utilizado como o módulo D sem o módulo B). O organismo notificado avalia o sistema de qualidade da produção (parte relativa ao fabrico e inspeção do produto final).

Tabela 2 – Módulos de Avaliação da Conformidade [51] (continuação)

Módulo	Domínio
E - Conformidade com o tipo UE baseada na garantia da qualidade do produto	Abrange a produção e segue-se ao módulo B. O fabricante aplica um sistema de garantia da qualidade total do produto (= qualidade da produção sem a parte relativa ao fabrico) aprovado para a inspeção e o ensaio finais dos produtos a fim de assegurar a conformidade com o tipo UE. Um organismo notificado avalia o sistema de qualidade. A ideia subjacente ao módulo E é semelhante à do módulo D: ambos se baseiam num sistema de qualidade e seguem-se ao módulo B. A diferença é que o sistema de qualidade no âmbito do módulo E visa garantir a qualidade do produto final, enquanto o sistema de qualidade no âmbito do módulo D (e também do D1) visa garantir a qualidade de todo o processo de produção (incluindo a parte relativa ao fabrico e os ensaios do produto final). Deste modo, o módulo E é semelhante ao módulo D sem as disposições relativas ao processo de fabrico.
E1 - Garantia da qualidade da inspeção e dos ensaios do produto final	Abrange a conceção e a produção. O fabricante aplica um sistema de garantia da qualidade do produto (= qualidade da produção sem a parte relativa ao fabrico) aprovado para a inspeção e os ensaios do produto final, a fim de assegurar a conformidade com os requisitos legislativos (não implica o módulo B (tipo UE), o módulo é utilizado como o módulo E sem o módulo B). O organismo notificado avalia o sistema de qualidade. A ideia subjacente ao módulo E1 é semelhante à do módulo D1: ambos se baseiam num sistema de qualidade. A diferença é que o sistema de qualidade no âmbito do módulo E1 visa garantir a qualidade do produto final, enquanto o sistema de qualidade no âmbito do módulo D1 visa garantir a qualidade do processo de produção no seu conjunto (incluindo a parte relativa ao fabrico e o ensaio realizado ao produto final). Deste modo, o módulo E1 é semelhante ao módulo D1 sem as disposições relativas ao processo de fabrico.
F - Conformidade com o tipo UE com base na verificação do produto	Abrange a produção e segue-se ao módulo B. O fabricante garante a conformidade dos produtos fabricados com o tipo UE aprovado. O organismo notificado realiza exames ao produto (ensaios realizados a cada produto ou verificações estatísticas) a fim de controlar a conformidade do produto com o tipo UE. O módulo F é como o módulo C2, mas o organismo notificado efetua verificações mais sistemáticas dos produtos.
F1 - Conformidade baseada na verificação do produto	Abrange a conceção e a produção. O fabricante garante a conformidade dos produtos fabricados com os requisitos legislativos. O organismo notificado realiza exames ao produto (ensaios realizados a cada produto ou verificações estatísticas) a fim de controlar a conformidade do produto com os requisitos legislativos (não implica o tipo UE, o módulo é utilizado como o módulo F sem o módulo B). O módulo F1 é como o módulo A2, mas o organismo notificado efetua controlos mais pormenorizados dos produtos.
G - Conformidade baseada na verificação das unidades	Abrange a conceção e a produção. O fabricante garante a conformidade dos produtos fabricados com os requisitos legislativos. O organismo notificado verifica cada produto individual a fim de assegurar a conformidade com os requisitos legislativos (não implica o tipo UE).
H - Conformidade baseada na garantia da qualidade total	Abrange a conceção e a produção. O fabricante aplica um sistema de garantia da qualidade total a fim de assegurar a conformidade com os requisitos legislativos (não implica o tipo UE). O organismo notificado avalia o sistema de qualidade.
H1 - Conformidade baseada na garantia da qualidade total e no controlo da conceção	Abrange a conceção e a produção. O fabricante aplica um sistema de garantia da qualidade total a fim de assegurar a conformidade com os requisitos legislativos (não implica o tipo UE). O organismo notificado avalia o sistema de qualidade e a conceção do produto e emite um certificado de exame UE da conceção. O módulo H1, em comparação com o módulo H, prevê, além disso, a realização pelo organismo notificado de um controlo mais pormenorizado da conceção do produto. O certificado de exame UE da conceção não deve ser confundido com o certificado de exame UE de tipo do módulo B que atesta a conformidade de uma amostra «representativa da produção prevista», de modo que a conformidade dos produtos possa ser verificada em relação a esta amostra. No caso do certificado de exame UE da conceção do módulo H1, não existe nenhuma amostra. O certificado de exame UE da conceção atesta que a conformidade da conceção do produto foi verificada e certificada por um organismo notificado.

No que diz respeito à mais recente versão da diretiva de equipamentos sob pressão na perspetiva do maior alinhamento com o NQL, salienta-se entre outras alterações, as que dizem respeito aos módulos de avaliação da conformidade, de acordo com o identificado na Tabela 3.

Tabela 3 - Módulos de avaliação de conformidade da diretiva 97/23/UE vs 2014/68/UE

Anterior Diretiva: 97/23/EU	Atual Diretiva: 2014/64/EU
Módulo A1	Módulo A2
Módulo B1	Módulo B, tipo de Projeto
Módulo B	Módulo B, tipo de Produção
Módulo C1	Módulo C2

A1.6 Procedimentos de avaliação da conformidade

Os procedimentos de avaliação da conformidade a aplicar a um equipamento sob pressão à luz da diretiva 2014/68/EU são determinados pela classe de risco estabelecida no artigo 13º da própria diretiva, que depende das condições e classificação do fluido em causa [46], de acordo com a distribuição enunciada na Tabela 4.

Tabela 4 - Procedimentos de Avaliação da Conformidade vs Classes de Risco

Classes de Risco	I	II	III	IV
Procedimentos de Avaliação da Conformidade	A	A2, D1, E1	B ¹ +D, B ¹ +F, B ² +E B ² +C2, H	B ² +D, B ² +F, G, H1
(1) – Tipo de Projeto (2) – Tipo de Produção				

Para efeitos de utilização prática da diretiva, e da classificação dos equipamentos sob pressão, existem dois grupos de fluidos.

O Grupo 1, onde estão incluídas substâncias ou misturas, classificadas como perigosas (explosivas inflamáveis, comburentes, pirofóbicas, tóxicas, auto-reativas ou que em contacto com a água libertem gases inflamáveis) de acordo com o Anexo I do Regulamento n.º 1272/2008, que já foi acima mencionado, e o Grupo 2 que contempla todas as outras substâncias não mencionadas no Grupo 1. São ainda incluídas no Grupo 1 substâncias com uma temperatura máxima admissível (TS), superior ao ponto de inflamação do fluido. No caso de equipamentos compostos por várias câmaras, que contenham várias substâncias, a classificação e consequente atribuição do procedimento de avaliação da conformidade deve basear-se na classe de risco mais elevada [46] [56].

Para a determinação da classe de risco, quanto aos equipamentos sob pressão propriamente ditos, é necessário ter em conta que os mesmos são agrupados em classes e em função dos perigos crescentes, de acordo com a aplicação das tabelas do Anexo II da diretiva 2014/68/EU [46], conforme sejam:

Recipientes destinados a conter gases, gases liquefeitos, gases dissolvidos sob pressão, vapores e líquidos cuja pressão de vapor à temperatura máxima admissível seja superior a 0,5 bar acima da pressão atmosférica normal (1 013 mbar), dentro dos seguintes limites:

- recipientes para fluídos do grupo 1 cujo volume seja superior a 1 litro, cujo produto PS·V seja superior a 25 bar·L, ou cuja pressão PS seja superior a 200 bar,
- recipientes para fluídos do grupo 2 cujo volume seja superior a 1 litro, cujo produto PS·V seja superior a 50 bar·L, ou cuja pressão PS seja superior a 1 000 bar, bem como todos os extintores portáteis e garrafas para aparelhos de respiração,

Recipientes destinados a conter líquidos, cuja pressão de vapor à temperatura máxima admissível seja inferior ou igual a 0,5 bar acima da pressão atmosférica normal (1 013 mbar), dentro dos seguintes limites:

- recipientes para fluídos do grupo 1 cujo volume seja superior a 1 litro, cujo produto PS·V seja superior a 200 bar·L, ou cuja pressão PS seja superior a 500 bar,
- recipientes para fluídos do grupo 2 cuja pressão PS seja superior a 10 bar e cujo produto PS·V seja superior a 10 000 bar·L, ou cuja pressão PS seja superior a 1 000 bar;

Equipamentos sob pressão aquecidos por chama ou de outro modo, sujeitos ao risco de sobreaquecimento, destinados à geração de vapor de água ou de água sobreaquecida a temperaturas superiores a 110 °C, cujo volume seja superior a 2 litros, bem como todas as panelas de pressão;

Tubagens destinadas a conter gases, gases liquefeitos, gases dissolvidos sob pressão, vapores e líquidos cuja pressão de vapor à temperatura máxima admissível seja superior a 0,5 bar acima da pressão atmosférica normal (1 013 mbar), dentro dos seguintes limites:

- tubagens para fluídos do grupo 1 com um DN superior a 25,
- tubagens para fluídos do grupo 2 com um DN superior a 32 e um produto PS·DN superior a 1 000 bar,

Tubagens destinadas a conter líquidos, cuja pressão de vapor à temperatura máxima admissível seja inferior ou igual a 0,5 bar acima da pressão atmosférica normal (1 013 mbar), dentro dos seguintes limites:

- tubagens para fluídos do grupo 1 com um DN superior a 25 e um produto PS·DN superior a 2 000 bar,
- tubagens para fluídos do grupo 2 cuja PS seja superior a 10 bar, com um DN superior a 200 e um produto PS·DN superior a 5 000 bar;

Acessórios de segurança e acessórios sob pressão destinados aos equipamentos anteriores, inclusivamente quando esses equipamentos estão incorporados em conjuntos

Conjuntos que incluam pelo menos um equipamento sob pressão dos anteriormente mencionados, devem igualmente satisfazer os requisitos essenciais de segurança previstos no anexo I, da diretiva e conforme sejam conjuntos destinados à geração de vapor e de água sobreaquecida a uma temperatura superior a 110 °C de que faça parte pelo menos um equipamento sob pressão, aquecido por chama ou de outro modo, sujeito ao risco de sobreaquecimento. O mesmo se aplica aos conjuntos que não os anteriores, caso o fabricante os destine a serem disponibilizados no mercado e colocados em serviço como conjuntos. Os equipamentos sob pressão e os conjuntos cujas características sejam inferiores ou iguais aos limites indicados de temperatura e pressão devem ser, segundo a diretiva, concebidos e fabricados segundo as regras da boa prática de engenharia (*Sound Engineering Practice*) utilizadas em cada Estado-Membro para garantir a sua utilização em condições de segurança. Esses equipamentos e conjuntos devem ser acompanhados, se necessário, de instruções de utilização suficientes e não podem ostentar a marcação CE [46].

A1.7 Organismos notificados

Os Organismos Notificados (*Notified Bodies*), são organismos de avaliação da conformidade que intervêm nas construções efetuadas ao abrigo das diretivas, assumindo funções diretamente relacionadas com a vigilância e controlo relativos aos procedimentos de avaliação, em função da harmonização técnica aplicável e sempre que previsto [51]. O organismo pode intervir a vários níveis, consoante o enquadramento sob o qual uma determinada construção determinar, por via da aplicação dos módulos de avaliação da conformidade, ou outras exigências legais. Em rigor, os organismos notificados são entidades de avaliação da conformidade oficialmente designados por autoridades nacionais para executar os procedimentos de avaliação da conformidade sob alçada da legislação da harmonização aplicável na união europeia, nomeadamente quando se exija a intervenção de terceira parte. As responsabilidades por parte de um organismo notificado, ao abrigo da aplicação de uma qualquer diretiva assume importância do domínio do interesse público, pelo que os próprios respondem perante as autoridades nacionais competentes.

Para que a sua atuação seja elegível em qualquer estado membro, um organismo notificado tem de ter personalidade jurídica estabelecida em território pertencente a um estado membro, atendendo aos atos legislativos do mesmo. É dada a oportunidade a cada estado membro decidir sobre a notificação de um organismo, sendo para isso necessário que se comprove de forma inequívoca que o mesmo preenche todos os requisitos de admissibilidade estabelecidos na legislação de harmonização vigente na União Europeia. A prova inequívoca surge através da submissão a uma acreditação do próprio organismo. Cada organismo tem uma designação numérica única, que os distingue. A notificação para o qual o organismo desempenha funções, acontece em um determinado âmbito, que define e estabelece condições de fronteira à sua atuação, bem como o setor a que atende. A sua atuação deve ser competente, não discriminatória, transparente, neutra, independente e imparcial, assegurando ainda a confidencialidade nos processos onde esteja envolvido. Para atender a todos estes requisitos, os organismos notificados são obrigados a assegurar o pessoal necessário e com competências e experiência necessárias à atuação no seu âmbito de notificação. A qualquer altura, os organismos notificados podem ter de demonstrar perante as autoridades nacionais, ou mesmo perante a comissão europeia a elegibilidade da sua atuação, bem como fornecer todas as informações relativas à correta aplicação das suas condições de notificação.

A suma importância da idoneidade dos organismos notificados, obriga a que os mesmos tenham de garantir que os seus operacionais são livres de qualquer pressão comercial, financeira ou qualquer outra passível de afetar o seu julgamento em qualquer situação, pelo que deve ter implementado o conjunto de procedimentos que se revelem necessários a esta garantia, sobretudo quando os organismos desempenham outras atividades. A principal função de um organismo notificado é a prestação de serviços em matéria de avaliação de conformidade, nas condições estabelecidas na legislação de harmonização aplicável da União. Trata-se de um serviço prestado aos fabricantes num domínio de interesse público [51].

Em Portugal, à data, os organismos homologados, bem como os seus âmbitos de notificação reconhecidos, são os mencionados na Tabela 5.

Tabela 5 - Âmbito de notificação dos organismos notificados portugueses [57]

Organismo	Âmbito
Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica (CATIM)	Aparelhos a gás; Segurança de máquinas; Produtos de construção; Equipamentos sob pressão
Instituto Eletrotécnico Português (IEP)	Ascensores;
Associação Portuguesa de Certificação (APCER)	Ascensores; Produtos de construção; Instrumentos de medição

Tabela 5 - Âmbito de notificação dos organismos notificados portugueses [57] (continuação)

Organismo	Âmbito
Serviços Internacionais de Certificação, Lda (SGS-ICS)	Produtos de construção
Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ)	Ascensores; Equipamento sob pressão; Instalações por cabo para o transporte de pessoas; Máquinas; Equipamentos sob pressão transportáveis; Produtos de Construção
Registro Internacional Naval (RINAVE)	Embarcações de recreio
Associação para a Certificação (CERTIF)	Produtos de construção
REDINSPAL- Consultoria e Inspeções Técnicas, Lda.	Equipamentos sob pressão transportáveis;
CITEVE – Certificação Unipessoal, LDA	Equipamentos de proteção individual
Qualidade e Ensaios não Destrutivos Unipessoal Lda. (QUALEND) *	Equipamentos sob pressão
Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal (RELACRE) *	Equipamentos sob pressão
Bureau Veritas Rinave - Sociedade Unipessoal, Lda.	Equipamentos sob pressão; Equipamentos sob pressão transportáveis
Instituto Tecnológico do Gás (ITG)	Equipamentos sob pressão; Equipamentos sob pressão transportáveis
SGS Portugal - Sociedade Geral de Superintendência S.A.	Equipamentos sob pressão; Recipientes sob pressão simples; Equipamentos sob pressão transportáveis
Associação Portuguesa para a Normalização e Certificação Ferroviária	Interoperabilidade do sistema ferroviário na Comunidade
Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (ITECONS) **	Produtos de construção
Empresa Internacional de Certificação, S.A. (EIC)	Produtos de construção
Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV)	Produtos de construção
Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) **	Produtos de construção
Bureau Veritas Certification Portugal, Sociedade Unipessoal, Lda.	Produtos de construção
Associação Nacional das Indústrias de Duas Rodas, Ferragens, Mobiliário e Afins- Laboratório de Ensaios de Produtos (AMIBOTA)	Produtos de construção
Gabinete Técnico de Certificação e Inspeção (GATECI)	Ascensores
EQS - Serviços de Engenharia, Qualidade e Segurança, Lda.	Equipamentos sob pressão
OVERMETRON, LDA	Instrumentos de medição
Associação Portuguesa dos Industriais do Calçado, Componentes, Artigos de Pele e seus Sucedâneos (APICCAPS)	Equipamentos de proteção individual
Servimetro – Serviços de Metrologia, S.A.	Instrumentos de pesagem não automáticos

A nível internacional é possível consultar todos os organismos, através da plataforma NANDO – *New Approach and Designated Organizations* [58]. No âmbito da diretiva de equipamentos sob pressão, a intervenção do organismo notificado escolhido pelos fabricantes é necessária de acordo com o identificado na Tabela 6.

Tabela 6 - Envolvimento dos Organismos Notificados em Função da Classe de Risco

Classes de Risco	I	II	III	IV
Envolvimento dos Organismos Notificados	Facultativo	Requerido	Requerido	Requerido

No entanto, a sua atuação na avaliação da conformidade pode acontecer a nível fabríco, ou projeto e fabríco, conforme o que preconizar a aplicação do módulo de avaliação de conformidade selecionado.

A1.8 Requisitos essenciais de segurança

Na sua generalidade, e à semelhança das demais, a diretiva de equipamentos sob pressão no conteúdo que em si encerra, gira em torno do cumprimento de requisitos de segurança.

As obrigações decorrentes dos requisitos essenciais de segurança, constituem para os fabricantes a obrigatoriedade de determinar os perigos e riscos que se aplicam aos seus equipamentos, bem como os controlar, projetando e fabricando soluções necessariamente conformes. Os equipamentos projetados e fabricados, devem ser também inspecionados e, quando aplicável, instalados de forma a garantir por um lado a segurança do próprio equipamento, e por outro das pessoas e bens, quando este for colocado em serviço.

A diretiva na real aceção do documento, demonstra a necessidade de cumprimento com os requisitos essenciais, com base em orientações mais ou menos objetivas quanto às atividades a levar a cabo na construção de um equipamento sejam estas de projeto ou de fabríco. São especificadas macroscopicamente orientações técnicas plausíveis sobre o que é ou não aceite perante a diretiva, em termos de metodologias e alguns valores de referência a respeitar em cada etapa. Sendo a diretiva um documento de base legislativa, não se poderá esperar que encerre em si todo o conhecimento necessário à construção de um equipamento no seu todo. Decorrente desta constatação, a filosofia para a abordagem a um cenário de necessidade de construção de um equipamento sob pressão, é naturalmente visar o cumprimento com todas as orientações e pressupostos nela contidas, como pressuposto de primeiro grau de cumprimento com as orientações legais, e posteriormente adotar formas de concretizar especificamente as necessidades identificadas, sem entrar em conflito com a própria diretiva. O caminho possível é recorrer às normas harmonizadas no domínio da matéria a tratar, como já fora mencionado anteriormente.

No caso dos equipamentos sob pressão, sujeitos ou não à ação de chama, conjuntos destes, bem como sistemas de tubagens e outros previstos no âmbito da aplicação da diretiva, necessitaremos de séries de normas harmonizadas que permitam modelar todo o âmbito de construção de um equipamento, tendo em conta a sua natureza, necessidades e enquadramento. Aos grupos ou séries de normas interdependentes, que fornecem toda a informação acerca de uma determinada construção a realizar, designaremos de códigos de construção.

Os códigos de construção internacionais, independentemente da sua origem e entidades envolvidas na sua harmonização, são compostos por uma estrutura semelhante, e onde cada parte se destina a uma etapa concreta do processo de desenvolvimento de um produto do seu âmbito.

Os códigos de construção mais comuns na área dos equipamentos sob pressão são o ASME BPVC, AD Merkblätter, PD 5500 (em desuso), CODAP (em desuso), EN 13445, EN 13480, EN 12952 e

EN12953, tendo em conta que os dois últimos são vocacionados especificamente para caldeiras aquotubulares, e flamotubulares, respetivamente. Por conviência com o que se irá tratar adiante, na figura de uma caldeira de vapor flamotubular, apresentam-se as partes constituintes do código harmonizado que serve a sua presunção de conformidade e cumprimento com a diretiva 2014/68/EU. A EN 12953, no seu todo, é composta nas seguintes partes interdependentes:

- EN 12953-1: *Shell Boilers: General*
- EN 12953-2: *Shell Boilers: Materials for pressure parts of boilers and accessories;*
- EN 12953-3: *Shell Boilers: Design and calculation for pressure parts;*
- EN 12953-4: *Shell Boilers: Workmanship and construction of pressure parts of the boiler*
- EN 12953-5: *Shell Boilers: Inspection during construction, documentation and marking of pressure parts of the boiler;*
- EN 12953-6: *Shell Boilers: Requirements for equipment for the boiler;*
- EN 12953-7: *Shell Boilers: Requirements for firing systems for liquid and gaseous fuels for the boiler;*
- EN 12953-8: *Shell Boilers: Requirements for safeguards against excessive pressure;*
- EN 12953-9: *Shell Boilers: Requirements for limiting devices of the boiler and accessories;*
- EN 12953-10: *Shell Boilers: Requirements for feedwater and boiler water quality;*
- EN 12953-11: *Shell Boilers: Acceptance tests;*
- EN 12953-12: *Shell Boilers: Requirements for grate firing systems for solid fuels for the boiler;*
- EN 12953-13: *Shell Boilers: Operating instructions;*
- CR 12953-14: *Shell Boilers: Guideline for involvement of an inspection body independent of the manufacturer;*

Adicionalmente ao que já foi descrito na generalidade sobre caldeiras torna-se naturalmente indispensável, enquadrar essa informação na normalização aplicável ao caso em estudo. A parte 1 da norma EN 12953, vem confirmar e necessariamente particularizar, do que já foi descrito anteriormente no que diz respeito aos requisitos, pressupostos de utilização e construção de caldeiras flamotubulares do tipo *Shell Boilers*. Esta norma aplica-se à construção de caldeiras cujo corpo é constituído por uma *Shell* (Casca/Membrana) com volume superior a 2 litros, cujo propósito é a geração de vapor e/ou água quente a uma pressão máxima admissível superior a 0,5 bar, e temperatura superior a 110 °C. Esta norma encontra-se em linha com a necessidade de cumprir requisitos de segurança, pelo que tem como objetivo garantir que os perigos associados à utilização das caldeiras são reduzidos ao mínimo, e que a proteção adequada seja fornecida e seja eficaz, quando o equipamento seja colocado e esteja em serviço. Naturalmente que a eficácia apenas se consegue alcançar através de um conjunto de métodos, técnicas de conceção, fabrico, inspeção e ensaios, e instruções de utilização também adequadas, pelo que todas estas etapas devem ser incorporadas ao longo do processo, respeitando as várias partes do código, além do enquadramento na diretiva correspondente (2014/68/EU). Este código de construção aplica-se a caldeiras sujeitas à ação de chama direta, mas também caldeiras aquecidas eletricamente, incluindo caldeiras de recuperação de calor com uma pressão máxima não superior a 0,5 bar do lado do gás, de configuração cilíndrica, construídas em aços carbono ou aços carbono-manganês, aptos a processamento por soldadura por fusão e uma pressão máxima admissível não superior a 40 bar. As caldeiras abrangidas por esta norma destinam-se a uso terrestre para produção de água quente ou vapor, cuja configuração típica é a que se mostra na Figura 39 [59].

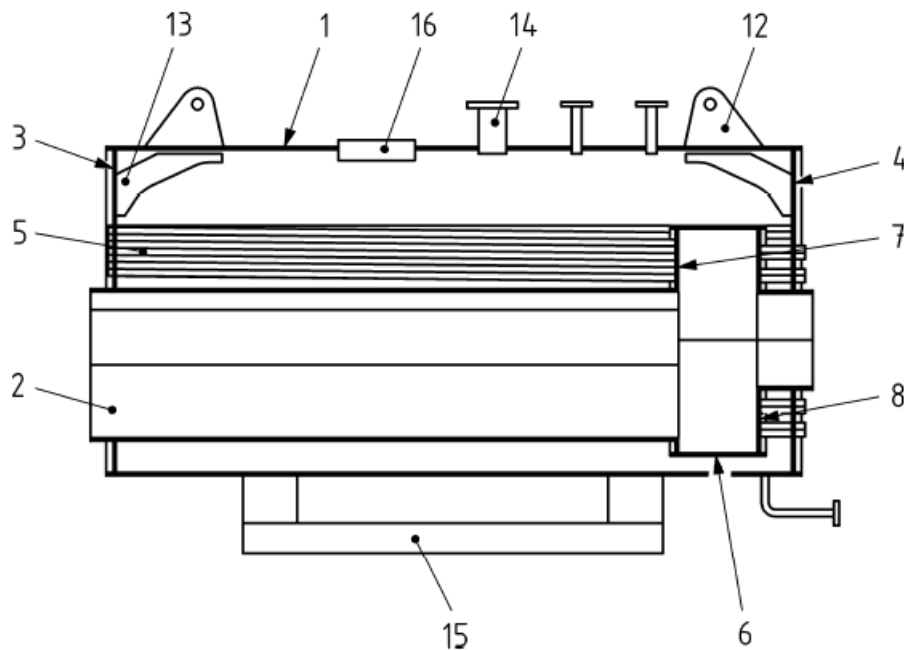


Figura 39 - Configuração típica de uma Caldeira de 3 passagens abrangida pela norma EN 12953 [59]

Onde:

- 1 Membrana Cilíndrica (Shell)
- 2 Câmara de Combustão tipo Tubo de Fogo (pode ser liso ou corrugado) - 1ª Passagem
- 3 Tampo Plano Frontal
- 4 Tampo Plano Traseiro
- 5 Tubos de Fumo - 2ª Passagem
- 6 Invólucro cilíndrico da câmara de inversão
- 7 Tampo Plano Frontal da Câmara de Inversão (ligação tubo-chapa ao feixe tubular)
- 8 Tampo Plano Traseiro da Câmara de Inversão
- 12 Olhais de Elevação
- 13 Ancoragens
- 14 Tubuladuras
- 15 Suportes
- 16 Abertura de acesso (Porta Homem)

Para as caldeiras que do lado do gás operem a uma pressão superior a 0,5 bar, as regras desta norma também se aplicam, no entanto admite-se que possam não ser suficientes para garantir todos os requisitos de segurança, pelo que remete para a análise e definição de requisitos adicionais ao projeto, inspeção e ensaios tendo em conta este fator [59]. Quando uma caldeira é constituída por uma parte flamotubular, com uma parte aquotubular, adicionalmente deverão ser considerados os requisitos da EN 12952, para a parte aquotubular. A Figura 40 pretende representar uma configuração típica deste caso.

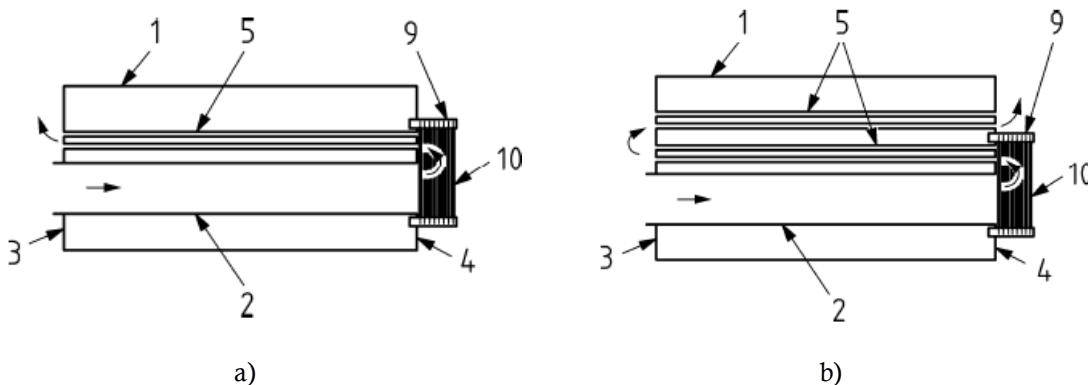


Figura 40 - Configuração típica de uma caldeira flamotubular combinada com uma parte aquotubular de a) duas passagens e b) três passagens [59]

Onde:

- 1 Membrana Cilíndrica (Shell)
- 2 Câmara de Combustão tipo Tubo de Fogo (pode ser liso ou corrugado) - 1ª Passagem
- 3 Tampo Plano Frontal
- 4 Tampo Plano Traseiro
- 5 Tubos de Fumo - 2ª Passagem
- 9 Coletor
- 10 Parede Tubular

As configurações anteriores são classificadas como caldeira de câmara de inversão molhada/inundada (*Wet Back*) no entanto estão também contempladas no âmbito da aplicação da EN 12953, configurações com câmara de inversão seca (*dry back*), conforme se apresenta na Figura 41.

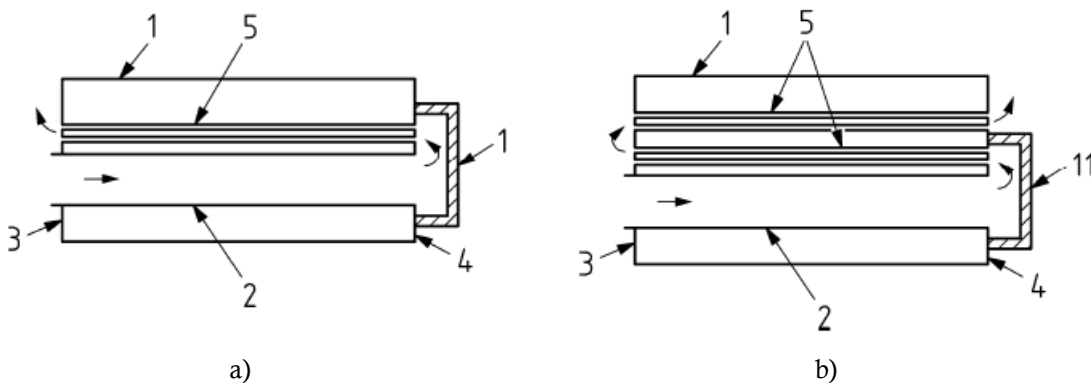


Figura 41 - Configuração típica de uma caldeira flamotubular com câmara de inversão seca de a) duas passagens e b) três passagens [59]

Onde:

- 1 Membrana Cilíndrica (Shell)
- 2 Câmara de Combustão tipo Tubo de Fogo (pode ser liso ou corrugado) - 1ª Passagem
- 3 Tampo Plano Frontal
- 4 Tampo Plano Traseiro
- 5 Tubos de Fumo - 2ª Passagem/3ª Passagem
- 11 Isolamento (geralmente material refratário)

Para as caldeiras de câmara de inversão inundada a superfície de aquecimento radiante efetiva compreende o tubo de fogo e a superfície exposta da câmara de inversão. Nas caldeiras flamotubulares combinadas com parte aquotubular, a superfície de aquecimento efetiva é a soma da superfície exposta do tubo de fogo e a superfície da câmara de inversão, ao passo que nas caldeiras com câmara seca a superfície de aquecimento radiante compreende a superfície do tubo de fogo e a parte exposta da câmara de inversão [59]. No caso de caldeiras de chama invertida/reversa, a superfície de aquecimento radiante resume-se ao tubo de fogo. Uma configuração típica deste tipo apresenta-se na Figura 42.

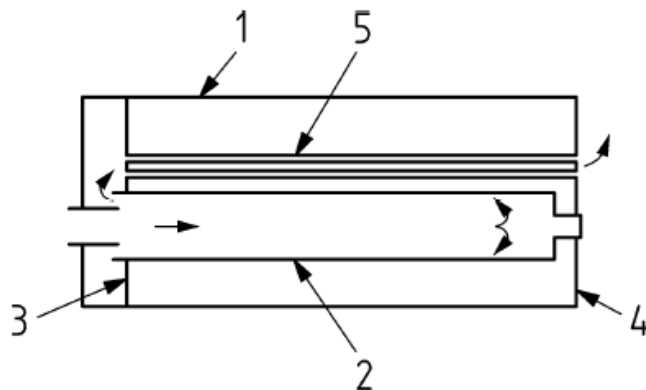


Figura 42 – Caldeira de chama invertida [60]

Onde:

- 1 Membrana Cilíndrica (Shell)
- 2 Câmara de Combustão tipo Tubo de Fogo (pode ser liso ou corrugado) - 1ª e 2ª Passagem
- 3 Tampo Plano Frontal
- 4 Tampo Plano Traseiro
- 5 Tubos de Fumo - 3ª Passagem

Excluídas do âmbito da EN 12953 estão as caldeiras puramente aquotubulares, caldeiras não estacionárias, caldeiras de óleo térmico, caldeiras construídas em alguma parte a partir de aços vazados, bem como quaisquer outros equipamentos que não os escrupulosamente mencionados no normativo [59].

A1.9 Softwares

A satisfação dos requisitos ao nível do dimensionamento de equipamentos sob pressão, prende-se com a necessária obrigatoriedade de que estes sejam projetados tendo em conta todos os fatores relevantes, quaisquer que sejam, durante todo o seu tempo de vida previsto. Tem de garantir uma resistência adequada conforme o fim a que destina, fatores de segurança adequados e o controlo sobre as variáveis como a pressão, temperatura, forças e demais solicitações, corrosão, erosão, fadiga, entre outras que sejam suscetíveis de ocorrer.

Atualmente é aceite realizar a atividade de dimensionamento com recurso ao método de cálculo, ou método experimental. O primeiro consiste em cálculo analítico, e o segundo consiste em teste uma unidade igual à que se quer produzir e testar os seus limites, de forma a passá-los. O método experimental, que prescindir de cálculo, apenas se pode aplicar em produtos cujo produto da pressão máxima admissível (PS) pelo seu volume (V) seja inferior a 6000 bar·L ou em produtos cujo produto da pressão máxima admissível (PS) pelo seu diâmetro nominal (DN) seja inferior a 3000 bar. Visto que a

segunda forma se revela inviável na generalidade das vezes, a escolha recai na primeira opção [46]. Apesar de a parte analítica se puder realizar de forma manual, atualmente estão disponíveis no mercado diversos softwares de cálculo baseados nas normas, que facilmente solucionam a parte de cálculo dos códigos de construção. Os softwares comerciais mais comuns no setor são o CODECALC, COMPRESS, PV ELITE, ADVANCED PRESSURE VESSEL, TANK, e o ASPEN EXCHANGER DESIGN AND RATING.

A1.10 Materiais

A seleção de materiais para construção de um equipamento sob pressão é uma etapa determinante. Qualquer material empregue deve ser adequado de forma a garantir o regime de funcionamento do equipamento durante o ciclo de vida para o qual foi projetado. Quer sejam materiais de base quer sejam materiais de ligação, como os materiais de soldadura e outros materiais de ligação. Os requisitos dos materiais aplicam-se separadamente, ou em conjunto. Isto é, há requisitos que se aplicam aos materiais enquanto matérias primas antes de processamento, e após processamento.

Ao abrigo da diretiva, os materiais empregues nas partes sujeitas à ação da pressão devem ter propriedades adequadas aos regimes de funcionamento determinados para o equipamento, nomeadamente e em particular no que diz respeito à sua ductilidade e tenacidade. Recordando que a ductilidade é a propriedade dos materiais que representa a sua capacidade de deformação até à rotura, e a tenacidade a capacidade de os materiais absorverem energia e deformarem plasticamente sem fraturar. Aos materiais utilizados neste contexto exige-se ainda propriedades de alongamento após rotura igual ou superior a 14%, e uma resiliência comprovada em ensaios de charpy, provete ISO-V, de 27J a uma temperatura de no máximo 20 °C, e não superior à temperatura mínima de funcionamento prevista para o equipamento. É necessário ter em conta que os materiais em contacto com os fluídos a ser processados nos equipamentos, devem resistir a contaminações provocadas por esses mesmos fluídos, de tal forma que as suas propriedades não se alterem quando estiverem, em contacto.

Outro aspeto fundamental, é a seleção de materiais que sejam aptos a sofrer processamento pelos processos de fabrico pelos quais irão ter de passar (Ex: conformação plástica, soldadura). Em particular nos equipamentos aquecidos por via da ação de chama, ou outra forma, devem ser projetados e construídos tendo em conta os perigos decorrentes do eventual sobreaquecimento.

Em virtude da harmonização necessária também ao nível dos materiais, os que forem utilizados para construção de equipamentos sob pressão devem figurar e encontrar-se especificados em normas harmonizadas atualizadas, como condição do cumprimento dos requisitos de segurança, pelo que o fabricante tem por obrigação demonstrar que foi cumprida esta condição, ou condição equivalente [46].

A1.11 Necessidades de qualificação

A Garantia da Qualidade é uma questão intemporal que sempre existiu, e provavelmente, sempre irá existir. De uma forma geral todos convivemos no nosso dia a dia com questões associadas à problemática da qualidade, seja numa ótica de sistemas de gestão, sistemas de controlo, ou outras tarefas ou ferramentas vocacionadas para a resolução de problemas nessa área.

Para a necessária garantia da qualidade, o fabricante deve demonstrar, e dispor efetivamente de recursos adequados aos produtos que se propõe fabricar. Não se resume ou encerra apenas em uma análise do contexto externo, como a referida observância regulamentar e normativa, mas tem a ver também com uma análise às suas capacidades internas instaladas.

A preocupação atual dos sistemas de gestão modernos, como por exemplo os que seguem as séries de normas ISO 9000 e em particular da ISO 9001, transmite-nos que os fabricantes devem garantir não só cumprimento com disposições ao nível da qualificação dos seus processos, adequabilidade das instalações, equipamento adequado ao trabalho a ser executado, mas também quanto a pessoal devidamente capacitado, e em alguns casos, qualificado de forma independente e imparcial ao abrigo de orientações muito específicas. Aliás, o foco na capacitação de recursos, retenção do conhecimento organizacional e envolvimento da gestão de topo, são vetores que deram corpo à mais recente versão da ISO 9001, em 2015.

O que foi dito, aplica-se de uma forma geral à atividade dos fabricantes, e em particular aos que desempenham atividade na área da construção soldada, que por natureza é extremamente regulamentada e onde o fator capacidade e competência, como veremos adiante, assume um papel determinante na qualidade do produto final.

Um sistema de gestão de um fabricante de construção soldada deve assegurar uma articulação eficaz entre intervenientes (ver Figura 43).

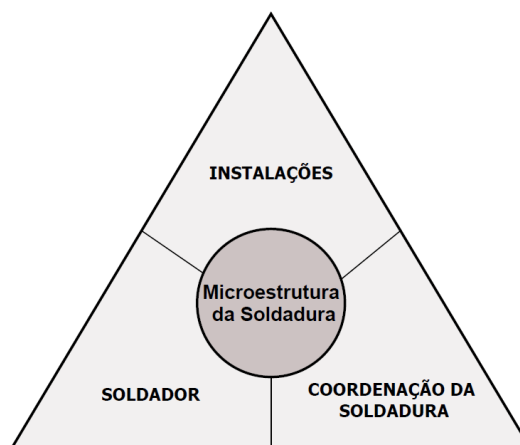


Figura 43 - Intervenientes na qualidade da soldadura final

Os equipamentos sob pressão, pela sua natureza, são construídos essencialmente com recurso a construção soldada. Como tal, a sua construção deve estar no alinhamento dos requisitos mais atuais que lhe forem impostos decorrentes de própria normalização ou legislação, requisitos do produto, do cliente final, ou de qualquer outro.

A maior condição para a garantia da qualidade de juntas soldadas, é a garantia da soldabilidade da junta a ser soldada. Podemos definir soldabilidade como a aptidão que um determinado material tem para ser processado por soldadura.

Um componente constituído por material metálico é considerado soldável por um determinado processo quando a continuidade metálica pode ser obtida pela soldadura, utilizando um procedimento de soldadura adequado, bem como ao mesmo tempo, as soldaduras devem cumprir os requisitos especificados relativamente às suas propriedades metalúrgicas, mecânicas, ou outras, relativamente à sua influência na construção da qual fazem parte.

A soldabilidade depende de três fatores determinantes, nomeadamente Material, Projeto (na aceção de conceção), e Produção. Ou de outro modo: Soldabilidade Metalúrgica, Soldabilidade Construtiva e Soldabilidade Operatória [60], cuja inter-relação se pretende ilustrar na Figura 44.

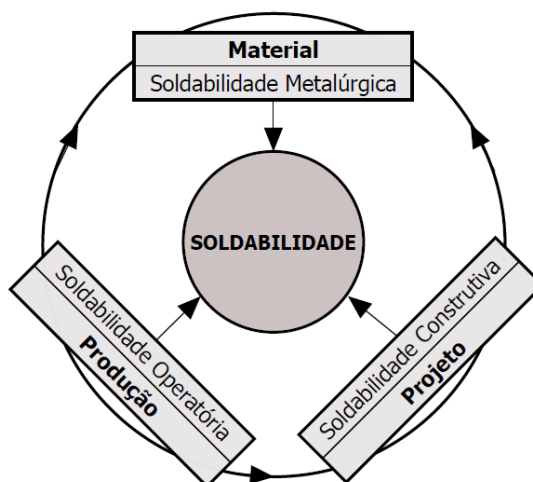


Figura 44 - Fatores que determinam a soldabilidade global de uma construção [61]

A soldabilidade metalúrgica, centra-se em fatores locais devidos à execução das soldaduras de natureza química como a tendência à rotura frágil, endurecimento, fissuração, envelhecimento ou o comportamento do próprio banho de fusão; de natureza física como condutividade térmica do material, temperatura de fusão dos materiais, dureza e de natureza metalúrgica como segregações, inclusões, tamanho de grão ou a própria anisotropia dos materiais. A soldabilidade Construtiva, existe numa determinada construção, se usados os materiais preconizados, o componente é capaz de permanecer a funcionar nas condições também elas previstas em projeto. Quanto menos constrangimentos de projeto houver a considerar, menor será o número de procedimentos de soldadura necessários à construção, bem como a soldabilidade global melhorará. Neste campo as preocupações essenciais são com as geometrias, espessuras, distribuição das soldaduras a efetuar, condições de aplicação das cargas e tensões geradas. A soldabilidade Operatória, incide na problemática das operações ao nível da execução do processo de soldadura, nomeadamente as condições em que a soldadura vai acontecer, a preparação dos materiais para posterior processamento, tipos de junta, processo a utilizar bem como os acessos [60].

A etapa de avaliação dos requisitos exigidos, para a verificação do seu cumprimento faz parte da tarefa global da garantia da qualidade das juntas soldadas, não só para os materiais como também na qualificação de processos onde eles forem empregues e pessoal interveniente. Ainda que o alinhamento se deva manter na melhoria contínua, qualificação de processos e pessoas, deve ser sempre feita uma distinção entre os requisitos da garantia da qualidade resultantes da necessidade de executar construções soldadas que estejam **ao abrigo de uma área regulamentada**, ou de **uma área não regulamentada**.

Em construções executadas em áreas regulamentadas, para garantir a qualidade dos produtos ou o seu fabrico, o uso de normas é claramente definido por regulamentos legais independentes da aplicação ou do ramo da indústria, ou relacionados a produtos ou ramos específicos. A Figura 45 apresenta de forma sumária os setores e normas aplicáveis à fabricação produtos de construção soldada, para garantia de requisitos de qualidade, independentemente da área de aplicação. No caso em estudo, realizar qualificações ou certificações que se exijam decorrentes da aplicação das normas, é mandatário.

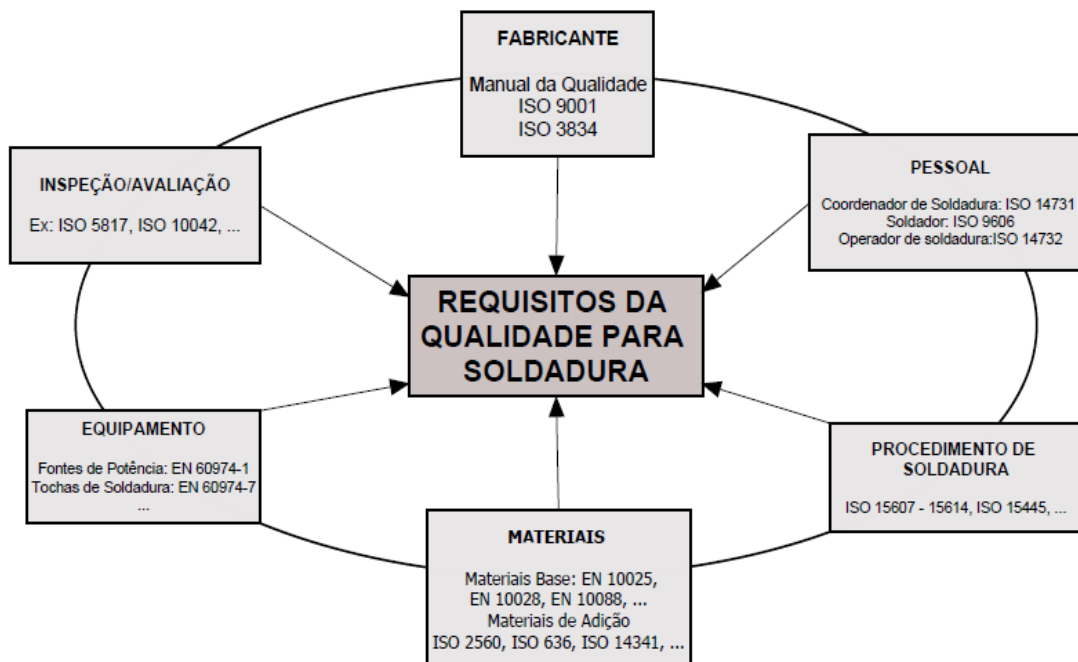


Figura 45 - Macro envolvente dos requisitos aplicáveis a uma construção soldada

São exemplos de áreas regulamentadas de base em construção soldada, mais expressivas em Portugal, os equipamentos sob pressão, estruturas metálicas e construção de material automóvel e ferroviário.

Em construções executadas em áreas não regulamentadas, as razões para a qualificação ou certificação podem existir igualmente por via de requisitos do próprio fabricante ou cliente. O fabricante pode até já ser certificado por um qualquer referencial, ou ter certificações de processos ou pessoas, no entanto nestes casos não existe obrigatoriedade formal quanto a essa necessidade.

A1.12 Qualificação de procedimentos de soldadura, soldadores e coordenadores

Aos fabricantes de equipamentos sob pressão, exige-se manter os processos de soldadura e pessoal interveniente, devidamente qualificados de acordo com a versão harmonizada das normas aplicáveis. A respetiva certificação é o parâmetro que evidencia o cumprimento da exigência. Para efeitos de interpretação vamos considerar que o pessoal de soldadura são os soldadores, operadores de soldadura e coordenadores de soldadura. Muito pese embora, a qualificação de um coordenador de soldadura não constitua um requisito mandatório em todos os códigos.

A qualificação de procedimentos de soldadura e soldadores têm naturezas diferentes, e existe com propósitos distintos. A qualificação de um procedimento de soldadura tem como objetivo garantir que o processo é adequado para preencher os requisitos de qualidade definidos na especificação de projeto, isto é, propriedades mecânicas e físicas das soldaduras. Por seu turno, a qualificação de soldadores tem por objetivo garantir que o soldador ou operador, sabe usar o processo de soldadura manualmente, forma mecanizada ou automatizada, nas condições especificadas definidas no projeto, garantindo a execução

de soldaduras aceitáveis, tendo em conta o requisito a que tenham de atender. As normas existentes relativas às qualificações de procedimentos de soldadura e soldadores são todas elas compostas por **variáveis essenciais**, **variáveis não essenciais**, e variáveis **essenciais suplementares**, que devemos compreender e saber distinguir no âmbito do presente estudo. Estes grupos são diferentes no domínio dos procedimentos de soldadura e dos soldadores.

No âmbito da **qualificação de procedimentos de soldadura**, **variáveis essenciais** são todas aquelas em que quando alteradas, originam alterações nas propriedades físicas, químicas e mecânicas da junta soldada implicando a qualificação de um novo procedimento de soldadura. São disso exemplo, alterações relativas ao agrupamento dos materiais de base ou adição, processo de soldadura, tipo de junta e detalhes da junta, dimensões, tipo de corrente de soldadura, entrega térmica, e outras. **Variáveis não essenciais**, são aquelas cuja sua alteração não implica a requalificação de um novo procedimento de soldadura, uma vez que se considera que não afeta as propriedades mecânicas da junta. Exemplo: Diâmetros do material de adição, desde que se cumpra os requisitos de entrega térmica. **Variáveis essenciais suplementares**, são variáveis cuja sua alteração afeta as propriedades da junta, pelo que passam a ser consideradas variáveis essenciais quando se verifique a necessidade de testes adicionais para aferir das propriedades da junta. Exemplo: Pós-aquecimento, tratamento térmico.

No âmbito da **qualificação de soldadores**, **variáveis essenciais** são todas as variáveis que ao serem alteradas se considera que modificam as técnicas operatórias ou as competências para a execução de uma soldadura. A sua alteração implica um novo exame de qualificação do soldador ou operador. Exemplo: Grupo de material de adição, processo de soldadura, tipo de junta, posição de soldadura, e outras. **Variáveis não essenciais**, são aquelas cuja alteração não obriga, à modificação da técnica operatória nem aos requisitos de competências por parte do soldador ou operador, para a execução da soldadura. Desta forma não implicam a realização de uma nova qualificação. Exemplo: Tipo de chanfro, tipo de passe (corrido ou balanceado), tipo de fixação da peça (no caso dos operadores). As gamas de validade que derivam da aplicação das normas de qualificação, e que figuram nos certificados, são dadas pelas variáveis essenciais e no caso dos procedimentos de soldadura também pelas variáveis essenciais suplementares, quando aplicável.

Apesar de na gíria industrial, puderem ser confundidos, soldadores e operadores são duas classes distintas. O **soldador** é o indivíduo responsável pela regulação de parâmetros de soldadura e pela deslocação manual da fonte de calor ao longo da junta de soldadura, enquanto que o **operador de soldadura** pode ou não ser o responsável pela regulação dos parâmetros de soldadura, é responsável pela supervisão da execução da junta soldada sem que para isso tenha de efetuar a deslocação da fonte de calor a seu cargo, tendo liberdade para puder ou não efetuar afinações durante a execução [61] [62].

Atualmente os códigos mais utilizados na qualificação de procedimentos de soldadura são a série de normas ISO 15614, ISO 15455, ISO 15620, AWS B2.1 e ASME IX. A qualificação dos soldadores segue a série de normas ISO 9606, API 1104, AWS D1.1 e ASME IX, a qualificação de operadores segue a ISO 14732, AWS D1.1 e ASME IX. Porque também têm de ser qualificados na sua atividade, os brasadores são qualificados de acordo com a ISO 13585 ou ASME IX. Apesar das várias possibilidades enunciadas, em Portugal as mais utilizadas são as normas com proveniência ISO. As restantes acabam por ser utilizadas em ramos muito específicos por exigência do produto e indústria, como é o caso das normas API nas refinarias, por exigência do mercado destino, como ASME para soluções que visam ser exportadas para território americano, ou por uma qualquer outra exigência do cliente que tenha de ser satisfeita. A série de normas de qualificação de procedimentos de soldadura ISO 15614 acima citadas, têm na sua génese o princípio de que a qualificação a realizar é baseada num ensaio de procedimento de soldadura [63], no entanto é possível realizar qualificações baseadas em outros métodos, conforme nos sugere a ISO 15607, remetendo para as normas correspondentes em função do método [64]. Tal justifica-se, pois, nem sempre se consegue criar uma condição de ensaio tipo, que nos represente efetivamente o contexto dos trabalhos a realizar, ou simplesmente pode acontecer a condição de trabalho a abranger em determinado procedimento, pode não estar contemplada nessa série de normas. Estes métodos, descritos na Tabela 7, são menos utilizados na indústria metalomecânica por não constituírem formas harmonizadas de qualificar o procedimento de soldadura, não constituindo dessa forma presunção de

conformidade. A construção de equipamentos sob pressão, é um dos casos em que esse não reconhecimento se verifica para as normas descritas na Tabela 7, com exceção da ISO 15613.

Tabela 7 - Outros métodos de qualificação de procedimentos de soldadura

Método	Referência Normativa	Condição Técnica Harmonizada de acordo com 2014/68/EU ?
Baseado em ensaios de consumíveis aprovados	ISO 15610	Não
Baseado em experiência prévia em soldadura	ISO 15611	Não
Baseado em procedimentos padrão	ISO 15612	Não
Baseada em ensaios de pré-produção (corpo de prova igual ao produto)	ISO 15613	Sim

No âmbito das qualificações, as normas ISO são compostas por 3 partes fundamentais. Uma parte que especifica as condições e define corpo de prova, outra que se dedica à avaliação e ensaios só corpo de prova, e outra que define as gamas de a qualificação relativas às variáveis de soldadura. As variáveis de soldadura que dão gamas de aprovação (ou domínios de validade) são as variáveis essenciais.

Independentemente da referência normativa que seja utilizada para elaborar a qualificação de procedimentos de soldadura e soldadores, qualquer qualificação deve ser suportada numa pEPS - especificação de procedimento de soldadura preliminar ou *pWPS – Preliminary Welding Procedure Specification* [64]. Uma pEPS é um documento escrito que contém todas as variáveis requeridas necessárias ao procedimento de soldadura a ser qualificado. A série de normas ISO 15609 sugere a forma de contruir um documento deste tipo, em função das tecnologias de soldadura empregues (Arco Elétrico, Soldadura a Gás, Resistência, e outras) [65].

Aquilo a que chamamos habitualmente procedimento de soldadura, é na realidade um RQPS – Registo de Qualificação de Procedimento de Soldadura, ou *WPQR – Welding Procedure Qualification Record*. Não obstante ao que foi mencionado, o que se necessita é de um documento escrito que contenha todas as variáveis necessárias à execução do trabalho de soldadura, com a garantia de que seguindo aqueles parâmetros teremos (em princípio) uma soldadura conforme. É neste seguimento que surge a EPS – Especificação de Procedimento de Soldadura ou *WPS – Welding Procedure Specification*, que nada mais é do que uma pEPS construída a partir de um RQPS aprovado nas gamas de validade requeridas, e, portanto, qualificada [64]. Este documento é o que define todo o *modus operandi* para a execução de uma soldadura, e deve ser tida em conta como a principal instrução de trabalho para isso. As etapas envolvidas na obtenção de uma EPS qualificada, pode ser resumido nas etapas da Tabela 8.

Tabela 8 - Diferentes fases da obtenção de uma EPS qualificada [64]

Atividade	Resultado	Parte Envolvida
1. Necessidade formal de desenvolver um processo/Resumo da proposta de qualificação	pEPS	Fabricante
2. Qualificação de acordo com a referência normativa adequada	RQPS	Fabricante e/ou Organismo de Inspeção
3. Criação de EPS(s) qualificada(s)	EPS (Qualificada)	Fabricante

As EPS, devem existir sempre que se pretenda aplicar soldadura. Seja no âmbito das necessidades de qualificação de procedimentos de soldadura ou soldadores como na construção propriamente dita. Os soldadores devem ser capazes de interpretar as informações contidas no documento e seguir eficazmente as instruções explanadas no documento. Quando em contexto de fabrico de um determinado equipamento, é altamente provável que apenas uma especificação não seja suficiente para suprir todos os requisitos e as necessidades das juntas a soldar. Desta forma é comum que para uma construção existam várias especificações de soldadura que podem, ou não, ser elaboradas à custa do mesmo procedimento de soldadura.

Frequentemente os fabricantes, por comodidade e economia de tempo, elaboram especificações de procedimentos de soldadura com os domínios de validade máximos permitidos pelos procedimentos de soldadura. Esta prática é pouco saudável quando generalizada. Apesar de os procedimentos de soldadura permitirem determinar gamas de validade para as variáveis, (de outra forma seria economicamente inoportável) recomenda-se que na elaboração das especificações de procedimentos de soldadura se trabalhe em gamas restritas e/ou segmentos desses domínios em função das vicissitudes e particularidades dos trabalhos a realizar. Trabalhar nos extremos das gamas de validade, implica uma conjugação complexa de variáveis, que distanciando-se das condições em que o corpo de prova foi elaborado, aumentam a incerteza relativamente à manutenção da soldabilidade das juntas soldadas. No âmbito da construção de equipamentos sob pressão as qualificações de procedimentos de soldadura, soldadores e operadores tem de ser efetuadas por um organismo notificado, ou uma entidade de terceira parte reconhecida em um estado membro que cumpra os pressupostos de um processo de notificação.

Participar da definição das qualificações, e conjugá-las com as necessidades efetivas das construções implica um conhecimento profundo em tecnologia da soldadura e normalização associada, bem como em uma grande variedade das tarefas relacionadas com soldadura. Os profissionais que (normalmente) estão devidamente preparados para desempenhar estas atividades são os coordenadores de soldadura. O coordenador de soldadura é um elemento fundamental em qualquer construção soldada de tal forma que, além de existir uma norma que define as suas funções, existem sistemas de Controlo de Produção em Fábrica (CPF) que tornam o coordenador de soldadura em um requisito mandatário, no âmbito da certificação do próprio sistema da empresa. É disso exemplo o CPF preconizado pela EN 1090, que alicerçada na ISO 3834 no que diz respeito a requisitos do CPF na parte da soldadura, torna condição de certificação a existência do coordenador de soldadura com competências adequadas, bem como alterações que existam na função [66].

A função, tarefas e responsabilidades dos coordenadores de soldadura são explicitadas na ISO 14731, considerando que os coordenadores são quem tem a responsabilidade de decisão sobre como as soldaduras devem ser executadas de forma a garantir os requisitos específicos, tendo em conta os problemas de soldabilidade que possam ocorrer. Inclui assegurar que os níveis de qualidade requeridos são atingidos, bem como a normalização, regulamentação e demais especificações são cumpridas. A avaliação de competências do pessoal da coordenação de soldadura deve incluir pelo menos o seguinte, em função da natureza e complexidade do fabrico [67]:

- Experiência prévia na soldadura de produtos similares, e de acordo com a normalização frequentemente utilizada por aquele fabricante;
- Conhecimento adequado do processamento dos materiais utilizados pelo fabricante;
- Experiência prévia fluente na utilização das normas de suporte à atividade;
- Conhecimento e compreensão das séries de normas ISO 3834 e da própria ISO 14731 no geral, e em particular do Anexo B desta norma;
- Experiência na resolução de problemas de construção soldada;
- Conhecimento teórico de acordo com o nível requerido.

Os coordenadores devem ser capazes de demonstrar e operacionalizar conhecimento técnico em tecnologia da soldadura adequado e suficiente de acordo com as necessidades, podendo esta demonstração ser feita à custa de uma combinação entre percurso educacional, formação e experiência profissional. Os níveis de competências dos coordenadores são divididos em três tipos em função da abrangência [67].

Nível Básico (*Basic Level*), do qual se espera que o(s) coordenador(es) de soldadura tenha(m) as competências mínimas para a resolução de problemas frequentes, que devem incluir a capacidade de aplicar e relacionar conceitos básicos sobre as tecnologias empregues na soldadura, para dar resposta a circunstâncias de caráter generalista comum.

Nível Específico (*Specific Level*), onde já se exige que o(s) coordenador(es) de soldadura consiga(m) operacionalizar conhecimento mais aprofundado quanto às técnicas empregues, que acumulem já capacidades de avaliação em determinadas circunstâncias, conseguindo contribuir para decisões tomadas em contextos mais complexos, construções de caráter menos generalizado e com conjunturas mais imprevisíveis, deve ser capaz de gerir uma construção equilibrando justificadamente o custo benefício.

Nível Compreensivo/Abrangente (*Comprehensive Level*), em que o(s) coordenador(es) de soldadura deve(m) ser altamente qualificado(s) e especializado(s) na resolução de problemas de soldadura, bem como relacionados, garantindo o emprego das mais eficientes e eficazes técnicas para atingir o objetivo. Exige-se a profundidade de conhecimento mais ampla e que permita garantir a plenitude de requisitos associados à função, tomando decisões justificadas e assumindo riscos calculados potenciais em matéria de técnica, custo benefício e adequação ao uso, mediante qualquer adversidade que possa surgir no seu campo de atuação.

O facto de um sistema de controlo e produção em fábrica (CPF) em construção soldada, remeter para a ISO 3834, não a transforma numa norma de sistema de gestão [68]. O que acontece é que no âmbito das normas de sistemas de gestão, como o caso da ISO 9001, por se entender que a soldadura é um processo especial, induz-se uma necessidade objetiva de garantia e controlo do processo, de pessoal, competências e metodologias adequadas que podem ser ditadas também por séries de normas vocacionadas para sistemas de controlo. É nesse seguimento que a ISO 3834, na sua composição, assume uma importância determinante não como sistema de gestão, mas como sistema de garantia da qualidade. No fundo, surge para tangibilizar as orientações do sistema de gestão em determinada área, neste caso aplicáveis à soldadura por fusão de materiais metálicos, que é a maioria do que se faz industrialmente. A título de exemplo, se o tema em questão for soldadura de materiais metálicos por resistência, o referencial mais adequado é a parte relevante da ISO 14554.

A ISO 3834, e as normas da mesma estirpe, são desenvolvidas com o objetivo de ser independentes do tipo de construção que se deseje realizar, específicas quanto aos requisitos a operacionalizar, e capazes de fornecer orientações para descrever a capacidade de um fabricante para produzir determinadas soluções de acordo com as especificações. O conjunto de normas ISO 3834 permite que o sistema seja auditável, pois permite demonstrar de forma determinada as capacidades do fabricante [68]. É frequente a estrutura da ISO 3834 servir para que entidades internas, externas, ou mesmo organismos notificados avaliem especificamente as capacidades efetivas dos fabricantes de construção soldada. Referenciais normativos como a ISO 3834 seguem uma estrutura também própria. São, à semelhança do que acontece com os coordenadores de soldadura, divididas em partes, cuja operacionalização de requisitos encontra-se segmentada por níveis estratificados quanto à abrangência da capacidade dos fabricantes em matéria de cumprimento de requisitos de qualidade na soldadura. Os requisitos de qualidade podem ser de **Nível Elementar (ISO3434-4)**, **Nível Standard (ISO3834-3)**, e **Nível Abrangente (ISO3834-2)**.

Destaca-se a articulação e sintonia clara entre a ISO 3834 e a ISO14731 em matéria de requisitos, que é possível evidenciar pelo Quadro 2 da ISO3834-5, que se apresenta na Tabela 9.

Tabela 9 - Relação entre requisitos da coordenação da soldadura e nível de qualidade do sistema de gestão [69]

Processo de Soldadura	Documento ISO	ISO 3834-2	ISO 3834-3	ISO 3834-4
Soldadura por arco elétrico	ISO 14731	Ponto 7.3	Ponto 7.3	-
Soldadura por feixe de eletrões				
Soldadura laser				
Soldadura a gás				

Os requisitos da ISO 3438 podem ser integralmente adotados, ou apenas os que se justificarem no âmbito de uma determinada construção, pelo que o fabricante deve procurar responder de uma forma seletiva e adequada [68]. A norma permite um enquadramento flexível para o controlo da soldadura de acordo com a envolvente, e tendo em conta aos seguintes cenários:

Fornecer requisitos específicos em especificações, tendo em conta que fabricante **possui** instalado um sistema de gestão da qualidade **de acordo com a ISO 9001**;

Fornecer requisitos específicos em especificações, tendo em conta que o fabricante **possui** instalado um sistema de gestão da qualidade, **que não a ISO 9001**;

Fornecer metodologias de orientação específicas, para o fabricante **desenvolver um sistema de gestão** da qualidade para soldadura de materiais metálicos por fusão;

Fornecer requisitos detalhados para as especificações, regulamentos ou normas, que **requeiram controlo** nas atividades relacionadas com a soldadura de materiais metálicos por fusão.

Na senda do que foi dito relativamente à ISO 14731, no setor da construção soldada, a ISO 3834 é de tal forma determinante que normas harmonizadas e sistemas de controlo de produção em fábrica modernos como a EN1090, conduzem os níveis de execução das construções à necessidade de cumprimento com os requisitos a ISO3834 [66], da seguinte forma:

Classe de Execução 1: Aplicáveis requisitos de nível elementar, de acordo com a **ISO3834-4**;

Classe de Execução 2: Aplicáveis requisitos de nível standard, de acordo com a **ISO3834-3**;

Classe de Execução 3 e 4: Aplicáveis requisitos de nível abrangente, de acordo com a **ISO3834-2**;

Sendo que, o mesmo se pode verificar na Tabela 10 e Tabela 11 quanto às competências específicas dos coordenadores de soldadura (cujos níveis de conhecimento já foram descritos) para construção em aços carbono e aços inoxidáveis, respetivamente, seccionadas no nível **B** – Básicas; nível **S** – Específicas e **C** – Abrangentes.

Tabela 10 - Nível de conhecimento exigido ao coordenador de soldadura para construção em aços carbono [66]

CLASSE DE EXECUÇÃO (EXC)	GRUPO DE MATERIAL (ISO TR15608)	REFERENCIAS NORMATIVAS	ESPESSURAS (t)		
			t ≤ 25	25 < t ≤ 50	t > 50
EXC2	S235 to S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-5, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	B	S	C
	S420 to S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-6, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	S	C	C

Tabela 10 - Nível de conhecimento exigido ao coordenador de soldadura para construção em aços carbono [66] (continuação)

CLASSE DE EXECUÇÃO (EXC)	GRUPO DE MATERIAL (ISO TR15608)	REFERENCIAS NORMATIVAS	ESPESSURAS (t)		
			t ≤ 25	25 < t ≤ 50	t > 50
EXC3	S235 to S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-5, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	S	C	C
	S420 to S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-6, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	C	C	C
EXC4	TODOS	TODOS	C	C	C

Tabela 11 - Nível de conhecimento exigido ao coordenador de soldadura para construção em aços inoxidáveis [66]

CLASSE DE EXECUÇÃO (EXC)	GRUPO DE MATERIAL (ISO TR15608)	REFERENCIAS NORMATIVAS	ESPESSURAS (t)		
			t ≤ 25	25 < t ≤ 50	t > 50
EXC2	Austeníticos (8) Ferríticos (7.1)	EN 10088-4:2009, Tabela 3 EN 10088-5:2009, Tabela 4 EN 10296-2:2005, Tabela 1 EN 10297-2:2005, Tabela 2	B	S	C
	Austeno-ferríticos (DUPLEX)	EN 10088-4:2009, Tabela 4 EN 10088-5:2009, Tabela 5 EN 10296-2:2005, Tabela 1 EN 10297-2:2005, Tabela 3	S	C	C
EXC3	Austeníticos (8) Ferríticos (7.1)	EN 10088-4:2009, Tabela 3 EN 10088-5:2009, Tabela 4 EN 10296-2:2005, Tabela 1 EN 10297-2:2005, Tabela 2	S	C	C
	Austeno-ferríticos (DUPLEX)	EN 10088-4:2009, Tabela 4 EN 10088-5:2009, Tabela 5 EN 10296-2:2005, Tabela 1 EN 10297-2:2005, Tabela 3	C	C	C
EXC4	TODOS	TODOS	C	C	C

Nos casos em que esta orientação não exista explicitamente a nível normativo, cabe ao fabricante, de acordo com as demais exigências relativas aos trabalhos, cadernos de encargos ou outros requisitos do cliente, trabalhar ou não ao abrigo da ISO 3834, muito pese embora, seja altamente recomendável pelos benefícios que a sua utilização acarreta para a construção. Atualmente, cada vez mais empresas procuram ter implementados sistemas de garantia da qualidade em complemento aos sistemas transversais de gestão da qualidade, mais não seja pela universalização da linguagem das orientações empregues, que lhes permitem penetrar em outros mercados.

A1.13 Inspeção e ensaios

Para garantir a qualidade de uma construção soldada não basta realizar ensaios a uma determinada junta soldada, independentemente da natureza do ensaio. A inspeção *per si* é economicamente desajustada na fabricação de produtos soldados. A garantia da qualidade tem de ser incorporada durante

as diversas fases de construção, que no caso de fabrico com recurso a soldadura, não se resume a etapas de inspeção operacional de componentes. O facto de a soldadura ser considerada um processo especial, deriva exatamente desta implicação. São processos especiais, todos aqueles em que não é possível ou viável garantir a qualidade do produto apenas com recurso a controlo e inspeção final. O Plano de Inspeção e Ensaio (PIE) é o documento escrito que guia toda e qualquer construção, e que deve ser desenvolvido tendo em conta a observância obrigatória de normas de produto, legislação e diretivas, códigos de construção, contrato e cadernos de encargos, bem como outras informações relevantes para o fornecimento, e permanente adequação ao uso. No PIE devem constar explicitadas todas e quaisquer atividades relevantes afetas à construção, e montagem se for caso disso, e deve incidir objetivamente em três grandes partes. Antes da soldadura, durante a soldadura e após soldadura. É no plano de inspeção e ensaios que são definidas todas as etapas de controlo, frequência e extensão de controlo, tipo de controlo bem como os intervenientes, níveis de qualificação e critérios de aceitação, em cada uma das etapas.

Para a definição de um documento desta natureza, as questões a que se deve procurar responder e definir são: O que fazer, Quem faz, Como se faz, Quando se faz, Onde se faz e em que circunstâncias se faz.

Deve procurar-se um cruzamento simbiótico entre o PIE e o planeamento da produção para que se respeitem as disposições previstas, ao nível dos pontos de monitorização, vigilância ou de paragem obrigatória, e se for o caso, execução de testemunhos de fabrico. Deve ser desenvolvido, revisto e validado por todas partes intervenientes na construção, sejam elas da parte do fabricante (responsáveis de processos), equipa de inspeção, ou organismos notificados (quando aplicável) e pelo cliente, sempre que algum fator dependa da sua validação/aceitação também. Espera-se que sejam espelhados no PIE todos os eventuais requisitos contratados ou extras que possam ter sido contemplados no âmbito de uma proposta comercial, para que não aconteçam faltas que possam numa fase posterior ser mais onerosas de corrigir, ou eventualmente não ser possível corrigir. O PIE deve, por via de regra, definir objetivamente o tipo de registos a produzir em cada etapa, modelos e versões, no sentido de minimizar incompatibilidades posteriores, pelo que esta necessidade deve ser determinada o mais a montante possível (aquando da revisão técnica de requisitos). Todas estas condições são válidas nos casos em que o plano de inspeção e ensaios é elaborado pelo próprio fabricante, e quando venha de uma outra parte, sendo condição obrigatória em ambos os casos, o seu cumprimento. De um modo geral, as partes relevantes de normas de produtos de base em construção soldada, sugerem como requisito mandatório a elaboração deste documento.

A1.14 Declaração de conformidade

O documento que atesta que um determinado produto ou construção satisfaz os requisitos essenciais da legislação aplicável, é a declaração de conformidade. Deve ser emitida antes da disponibilização do produto no mercado, de acordo com os pressupostos do determinado na diretiva ou regulamento correspondentes. Em particular no caso dos equipamentos sob pressão ou conjuntos, a terminologia adotada que denomina a declaração é “Declaração UE de Conformidade” [46]. É comum, para a mesma finalidade, ao abrigo de outras diretivas ou regulamentos observarmos a existência de outras terminologias, como no caso de produtos de construção (Regulamento n.º 305/2011) onde é designada de declaração de desempenho [70]. A declaração deve ser traduzida para a língua do mercado destino do produto ou conjunto. Em qualquer dos casos, emitindo e assinando a Declaração UE de Conformidade, ou documento equiparado, os fabricantes ou os seus mandatários passam a assumir responsabilidade pela conformidade do produto.

Anexo 2

(Materiais, Soldabilidade, Critérios de Fabricação e Inspeção)

Este Anexo, compilado pelo autor da presente dissertação, faz parte do manual iniciado no Anexo 1 e dedica-se à identificação dos materiais de base e de adição, de acordo as respectivas normas aplicáveis enquadradas e requeridas no âmbito da construção de ESP. Apresenta ainda os aspetos relacionados com a soldabilidade, fabrico e inspeção.

A2.1 Material de base e material de adição para equipamentos sob pressão

As Tabelas 12 a 14 contêm a informação pertinente relativa aos **materiais de base**, empregues no equipamento em estudo.

Tabela 12 - Enquadramento da norma de produto aplicável ao componente [71] [72] [73]

Componente	Sigla	Norma de Produto	Segmento
Virolas, Tampos, Postigos, Suportes e outros produzidos a partir de chapa	P	EN 10028 - Produtos Planos de aço para aparelhos sob pressão	Parte 2: Aços não ligados e ligados com características especificadas a elevada temperatura
Tubos	T	EN 10216 - Tubos sem costura para aplicações sob pressão	Parte 2: Aços não ligados e ligados com características especificadas a elevada temperatura
Flanges	F	EN 1092 - Flanges e Juntas	Parte 1: Flanges em Aço

Tabela 13 - Composição Química ⁽¹⁾ (análise de vazamento) [71] [72] [73]

	Classe	C	Si	Mn	P	S	Al _{Total}	N	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Outros
P	P265G H	≤ 0,2 0	≤ 0,40	0,8 0 - 1,4 0	≤ 0,02 5	≤ 0,01 0	≥0,02 0	≤0,1 2	≤0,3 0	≤0,3 0	≤0,0 8	≤0,02 0	≤0,3 0	≤0,03	≤0,0 2	(2)
T	P235G H	≤ 0,1 6	≤ 0,35	≤ 1,2 0	≤0,02 5	≤ 0,01 0	≥0,02 0	-	≤0,3 0		≤0,0 8	≤0,02 0	≤0,3 0	≤0,04 0	≤0,0 2	(2)
F	P250G H	0,1 8 - 0,2 3	≤0,4 0	0,3 0 - 0,9 0	≤ 0,02 5	≤ 0,01 5	0,015 - 0,050	-	≤0,3 0	-	-	≤0,01 0	≤0,3 0	≤0,03	≤0,0 2	(2)

⁽¹⁾ % em massa; ⁽²⁾ Cr + Cu + Mo + Ni ≤ 0,70

Tabela 14 - Desvios permitidos à análise do produto a partir dos limites da análise de vazamento [71] [72] [73]

Elemento	Componente					
	P		T		F	
	V.E.A.V. ⁽¹⁾⁽³⁾	D.P.A.V. ⁽²⁾⁽³⁾	V.E.A.V. ⁽¹⁾⁽³⁾	D.P.A.V. ⁽²⁾⁽³⁾	V.E.A.V. ⁽¹⁾⁽³⁾	D.P.A.V. ⁽²⁾⁽³⁾
C	≤ 0,23	± 0,02	≤ 0,29	± 0,02	≤ 0,23	± 0,02
Si	≤ 0,35	± 0,05	≤ 0,40	± 0,05	≤ 0,80	± 0,05
	> 0,35 a ≤ 1,00	± 0,06	> 0,40 to ≤ 1,00	± 0,06	-	-
Mn	≤ 1,00	± 0,05	≤ 1,00	± 0,05	≥ 0,30 to ≤ 1,70	+ 0,10 - 0,05
	> 1,00 a ≤ 1,70	± 0,10	> 1,00 to ≤ 1,50	± 0,10	-	-

Tabela 14 - Desvios permitidos à análise do produto a partir dos limites da análise de vazamento [71] [72] [73] (continuação)

	Componente					
	P		T		F	
P	≤ 0,015	± 0,003	≤ 0,030	+ 0,005	≤ 0,030	+ 0,005
	>0,015 a ≤ 0,025	± 0,005	-	-	-	-
S	≤ 0,010	± 0,003	≤ 0,010	+ 0,003	≤ 0,015	+ 0,003
	-	-	> 0,010 to ≤ 0,020	+ 0,005	> 0,015 to ≤ 0,025	+ 0,005
Al	≥ 0,010	± 0,005	≤ 0,060	± 0,005	≤ 0,050	+ 0,005
B	≤ 0,003	± 0,0005	≤ 0,007	+ 0,0005	≤ 0,005	-
N	≤ 0,020	± 0,002	≤ 0,070	± 0,01	≤ 0,025	+ 0,002
	> 0,020 a ≤ 0,070	± 0,005	-	-	-	-
Cr	≤ 2,00	± 0,05	≤ 1,00	± 0,05	≤ 1,00	± 0,05
	> 2,00	± 0,10	> 1,00 to ≤ 10,0	± 0,10	> 1,00 to ≤ 2,50	± 0,10
	-	-	> 10,0 to ≤ 12,5	± 0,15	-	-
Cu	≤ 0,30	± 0,05	≤ 0,80	± 0,05	≤ 0,30	+ 0,05
	> 0,30 a ≤ 0,80	± 0,10	-	-	> 0,30 a ≤ 0,70	+ 0,07
Mo	≤ 0,35	± 0,03	≤ 0,35	± 0,03	≤ 0,35	± 0,03
	> 0,35 a ≤ 1,10	± 0,04	> 0,35 to ≤ 1,20	± 0,04	> 0,35 a ≤ 1,10	± 0,04
Nb	≤ 0,10	± 0,01	≤ 0,10	± 0,005	≤ 0,06	+ 0,01
Ni	≤ 0,30	± 0,05	≤ 0,35	± 0,05	≤ 1,00	+ 0,05
	> 0,30 a ≤ 1,30	± 0,10	> 0,35 to ≤ 1,30	± 0,07	> 1,00 a ≤ 2,50	+ 0,10
Cr + Cu + Mo + Ni	≤ 0,70	± 0,05	-	-	-	-
Ti	≤ 0,03	± 0,01	≤ 0,060	+ 0,010	≤ 0,05	+ 0,01
V	≤ 0,05	± 0,01	≤ 0,10	+ 0,01	≤ 0,12	+ 0,01
	> 0,05 a ≤ 0,30	± 0,03	> 0,10 to ≤ 0,55	± 0,03	> 0,12 a ≤ 0,20	+ 0,02
W			≤ 2,00	± 0,10	-	-
Zr	-	-	-	-	≤ 0,15	+ 0,01

⁽¹⁾ Valor especificado para análise do vazamento; ⁽²⁾ Desvio permitido na análise do produto; ⁽³⁾ % em massa

O cumprimento perante a composição química e desvios especificados, irá determinar a garantia das propriedades mecânicas desejadas para a classe de produto enunciada, conforme Tabela 15.

Tabela 15 - Propriedades mecânicas aplicáveis na direção transversal [71] [72] [73]

Classe	Estado de Fornecimento ⁽¹⁾	Espessura t (mm)	Tensão de cedência ⁽²⁾ R _{eH} (MPa)	Tensão de Rotura ⁽²⁾ R _m (MPa)	Extensão após Rotura A (%)	Energia de flexão por choque KV (J) ⁽²⁾ à temperatura		
						-20 °C	0 °C	20 °C
P265GH	+N	≤ 16	265	410 a 530	22	27	34	40
		16 < t ≤ 40	255					
		40 < t ≤ 60	245					
		60 < t ≤ 100	215					
P265GH	+N	100 < t ≤ 150	200	400 a 530	25	-	-	47
		150 < t ≤ 250	185	390 a 530				
P235GH	+N	≤ 16	235	360 a 500	23	-	27	-
		16 < t ≤ 40	225					
		40 < t ≤ 60	215					
		60 < t ≤ 100	-					
		100 < t ≤ 150	-					
		150 < t ≤ 250	-					
P250GH	+N	≤ 50	250	410 a 540	25	-	-	47
		50 < t ≤ 100	240					
		100 < t ≤ 150	230					

⁽¹⁾ +N = normalizado; +NT = normalizado e revenido; +QT = temperado e revenido;
⁽²⁾ Valor mínimo;

Como consequência do processo de laminagem, a estrutura de grão adquire orientação preferencial de acordo com a direção de laminagem (L). As propriedades mecânicas especificadas são válidas no sentido transversal (LT) conforme se ilustra na Figura 46.

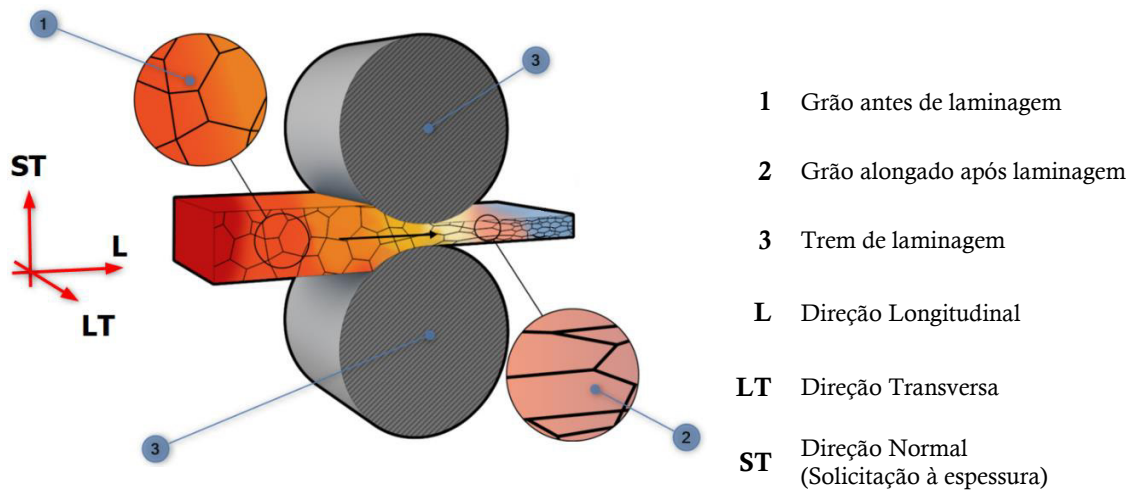


Figura 46 - Direção de laminagem [74]

Reconhecer esta disposição é o único meio de interpretar e utilizar corretamente os valores tabelados, sempre que seja necessária a sua consulta e utilização. Este fator tem especial influência sempre que se deseje validar propriedades mecânicas com recurso a ensaios, numa determinada etapa do processo, como por exemplo na execução de testemunhos de fabrico. Mas isto é válido também para etapas a montante do fabrico. Por exemplo as considerações tomadas para os materiais utilizados na qualificação de procedimentos de soldadura, para as próprias soldaduras e aceitação dos resultados dos ensaios

preconizados, devem ter o mesmo cuidado na análise e interpretação baseada nas normas correspondentes. Refere-se a título de exemplo a execução de testemunhos de fabrico, porque sendo uma etapa mandatória para o caso em estudo, a perda do sentido de laminagem durante o fabrico pode resultar na impossibilidade de determinar, e consequentemente validar, corretamente os resultados necessários colocando em causa o normal seguimento da construção. Por outro lado, este conhecimento é importante para que seja garantido o sentido preferencial para os processos de conformação, neste caso calandragem. Em particular nos equipamentos sob pressão, onde a construção é quase exclusivamente feita com recurso a produtos obtidos por laminagem, não garantindo o sentido correto, estamos também a colocar em causa a capacidade resistente da membrana do equipamento face às forças atuantes. Ou seja, na prática, estamos a colocar em causa o dimensionamento. No âmbito dos materiais de base aplicados ao equipamento em estudo, ou seja, aços com características especificadas para elevadas temperaturas, o suporte normativo fornece propriedades mecânicas dos materiais para valores bem determinados de temperatura, conforme se mostra na Tabela 16. No entanto, permite determinar outros valores que não os mencionados por iteração dos valores tabelados.

Tabela 16 - Valor mínimo para tensão limite convencional de proporcionalidade 0,2% a uma dada temperatura [71] [72] [73]

Classe	Estado de Fornecimento ⁽¹⁾	Espessura t (mm)	Tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2% R _{p0,2} (MPa) à temperatura, em °C de									
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
P265GH	+N	≤ 16	256	241	223	205	188	173	160	150	-	-
		16 < t ≤ 40	247	232	215	197	181	166	154	145	-	-
		40 < t ≤ 60	237	223	206	190	174	160	148	139	-	-
		60 < t ≤ 100	208	196	181	167	153	140	130	122	-	-
		100 < t ≤ 150	193	182	169	155	142	130	121	114	-	-
		150 < t ≤ 250	179	168	156	143	131	121	112	105	-	-
P235GH	+N	≤ 60	-	198	187	170	150	132	120	112	108	-
P250GH	+N	≤ 50	242	237	216	190	170	150	120	110	90	-
		50 < t ≤ 100	234	230	210	185	165	145	125	100	80	-
		100 < t ≤ 150	224	220	200	175	155	135	115	90	70	-

⁽¹⁾ +N = normalizado; +NT = normalizado e revenido; +QT = temperado e revenido;

As propriedades mecânicas de um material descrevem a sua reação à aplicação de forças. São resultado das propriedades físicas, influenciadas por fatores como forças aplicadas, temperatura e microestrutura, e são determinadas através de ensaios padronizados de forma a poder quantificar essas mesmas propriedades e selecionar materiais. Os valores tabelados correspondem às propriedades mecânicas dos materiais em pontos bem definidos da curva tensão-deformação, obtida através de ensaios de tração, como se pretende ilustrar na Figura 47.

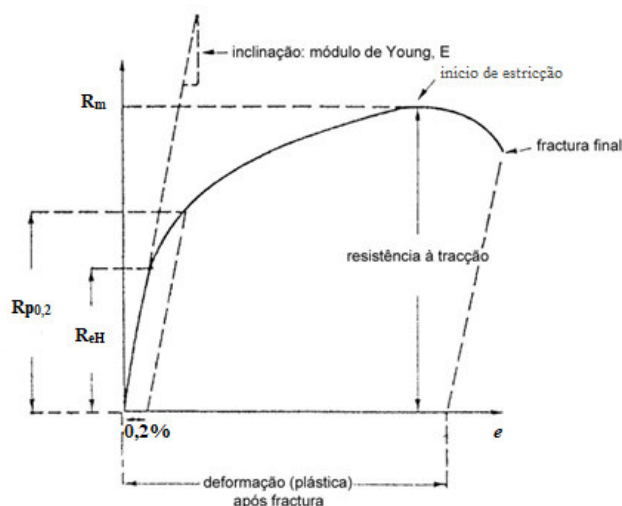


Figura 47 - Curva Tensão - Extensão (%) [75]

Onde

R_{eH}	Tensão de cedência
$R_{p0,2}$	Tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2% de deformação
R_m	Tensão limite de resistência à tracção
e	Extensão (%)

A identificação das propriedades dos materiais de base é o principal fator que determina a seleção dos materiais de adição a utilizar nas operações de soldadura, bem como as condições específicas para o processamento por soldadura, em função do processo de soldadura escolhido ou disponível para utilizar. Os **materiais de adição** devem ser seleccionados tendo em vista uma panóplia muito vasta de condicionantes tendo em vista a finalidade pretendida, sendo que sob o ponto de vista prático a sua aplicação deve garantir que:

- A composição química é compatível com os materiais de base a ligar
- A zona fundida após soldadura, enquanto substrato, não levanta problemas com processos posteriores (Ex: Pintura, Galvanização, ...)
- As propriedades mecânicas e metalúrgicas desejadas após soldadura
- Contribui para o controlo da ocorrência de situações a que o próprio material de base possa ser propenso (Ex: fissuração a quente, fissuração a frio, ...)
- É adequado às condições operatórias nas condições de trabalho que forem necessárias (Posição de soldadura, equipamento, dimensão e formato adequada à junta a soldar e processo de soldadura a utilizar, tipo de corrente elétrica, ...)
- O material se encontra disponível no mercado, sempre que possível assegurando a melhor relação qualidade-custo
- O material cumpre com especificações técnicas suficientes, de tal forma que possa ser empregue na construção em análise

Existe uma enorme panóplia de materiais de adição para soldadura, sob os vários formatos de eléctrodos consumíveis (fios, varetas, eléctrodos revestidos, ...) ou fluxos. À semelhança do que acontece com materiais de base, os consumíveis também são classificados em especificações universais para que exista uma consistência na composição e nas restantes propriedades entre os vários materiais aquando da sua disponibilização no mercado. Existem essencialmente dois métodos de classificação dos consumíveis

de soldadura. O método americano AWS e o método europeu EN ISO. Apesar da terminologia ser diferente, ambas as classificações existem com o mesmo propósito, sendo que a principal diferença entre elas é que o método americano assenta numa filosofia de especificação com base na tensão de rotura dos materiais, enquanto que o europeu assenta na tensão de cedência. Quer num método quer noutra, é feito um agrupamento de materiais e de processo de soldadura que vai processar o material de adição em função da sua tipologia e/ou formato. Em termos de código, em sentido formal do termo, o americano trata todos os materiais de adição em uma só parte, já no europeu existe uma norma específica para cada consumível, igualmente em função da sua tipologia e/ou formato. Adicionalmente, uma particularidade do método europeu é a possibilidade de podermos encontrar a especificação de acordo com o sistema A, ou sistema B (sistema B assente igualmente na especificação com base na tensão de rotura). A título explicativo consideremos a utilização de um material de adição do tipo elétrodo revestido. Processo 111 de acordo com a EN 4063.

Especificação AWS A5.1: E7018

AWS A5.1 | Especificação para materiais de adição de aços ao carbono para soldadura manual com elétrodo revestido.

E7018	E	Elétrodo
	70	70 x 1000 psi \approx 480 MPa
	1	Posição de Soldadura
	8	Tipo de Revestimento

Especificação EN **sistema A**: especificação com base na tensão de cedência e energia de impacto de 47J.

EN ISO 2560-A: E 42 3 1Ni B 54 H5

E	Elétrodo revestido para soldadura manual por arco elétrico
46	Tensão de cedência mínima de 420 MPa e alongamento mínimo de 20%
3	Energia mínima de impacto de 47J a -30 °C
1Ni	Composição química do metal depositado conforme ISO 2560
B	Revestimento do tipo básico
5	Eficiência nominal > 125 e \leq 160% em corrente de soldadura contínua ou alternada
4	Posição de soldadura ao baixo (PA)
H5	Teor de hidrogénio no metal depositado máximo de 5mg/100ml

Especificação EN **sistema B**: especificação com base na tensão de rotura e energia de impacto de 27J.

EN ISO 2560-B: E 46 3 1Ni B 54 H5

E	Elétrodo revestido para soldadura manual por arco elétrico
46	Tensão de rotura mínima de 460 MPa
3	Energia mínima de impacto de 27J a -30 °C
1Ni	Composição química do metal depositado conforme ISO 2560
B	Revestimento do tipo básico
5	Eficiência nominal > 125 e \leq 160% em corrente de soldadura contínua ou alternada
4	Posição de soldadura ao baixo (PA)
H5	Teor de hidrogénio no metal depositado máximo de 5mg/100ml

A análise macroscópica de uma junta soldada, executada por um qualquer processo de soldadura por arco elétrico num aço, permite distinguir três zonas. A **Zona Fundida (ZF)**, a **Zona Afetada pelo Calor (ZAC)** também designada por **Zona Termicamente Afetada (ZTA)** e o **Metal de Base (MB)** que se convencionou como não tendo sido afetado pelo calor desenvolvido na soldadura. Um esquema representativo é ilustrado na Figura 48.

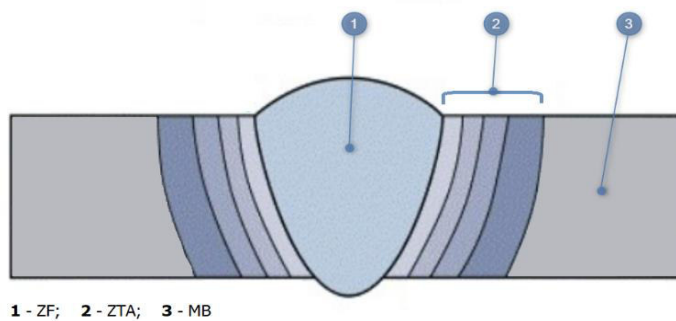


Figura 48 - Ilustração das três principais zonas de uma junta soldada

A Zona Fundida é constituída pelo volume do material de base e de adição que são sujeitos a uma temperatura superior à temperatura de fusão. A composição química desta zona será o resultado da combinação entre a composição química dos materiais de base e adição e das reações químicas que se desenvolvam no banho de metal fundido. Embora à partida as composições de ambos os materiais sejam conhecidas, as proporções em que cada um contribui para o banho são função da diluição e das reações entre a escória-metal (em materiais de adição que gerem escória) e gás-metal (em materiais de adição cuja proteção do banho é feita com recurso a gás. No arrefecimento verifica-se uma solidificação heterogénea com o crescimento epitaxial do grão junto à linha de fusão, fenómenos de segregação e transformações estruturais que são função do tamanho do grão austenítico, da composição química e da velocidade de arrefecimento. A zona afetada pelo calor compreende a porção de material de base que foi de algum modo afetada pelo calor gerado pela soldadura e transferido por condução através dos elementos soldados [76]. Dentro da zona termicamente afetada são normalmente identificadas **várias zonas**, cuja extensão e natureza **varia com a composição química**, o **ciclo térmico** sofrido e, de certo modo, **com a microestrutura original** [77]. No caso dos aços, cada zona é caracterizada por um intervalo de temperaturas máximas de pico (T_p), tal como se apresenta na Figura 49.

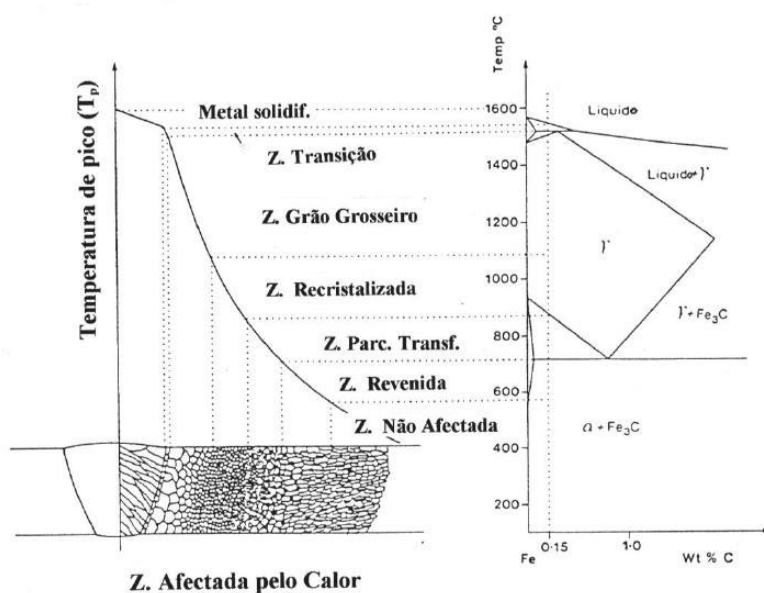


Figura 49 - Diagrama esquemático das várias subzonas da ZAC vs Diagrama de equilíbrio Fe-C [77]

O comportamento mecânico da junta depende, entre outros fatores, da composição química, como já foi referido. No caso das juntas soldadas a composição química final depende do material de base e de adição envolvidos na execução da soldadura. Mas especificamente, depende da proporção de material de base que é diluído no banho de metal fundido. Esta grandeza designa-se por **Diluição** e é normalmente caracterizada por uma razão de áreas conforme se apresenta na Figura 50 e descreve pela equação 13 [76]

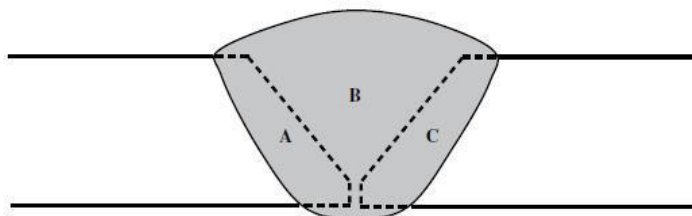


Figura 50 - Esquema demonstrativo do cálculo da diluição

$$\text{Diluição (\%)} = \frac{A + C}{A + B + C} \cdot 100 \quad (13)$$

A diluição é função essencialmente do processo e procedimento de soldadura utilizados, bem como da geometria e propriedades térmicas dos materiais a soldar. A utilização de energias térmicas específicas mais elevadas, em soldadura de materiais de baixo ponto de fusão ou onde a geometria não favoreça a perda por condução de parte do calor adicionado, favorecem o aumento da diluição. As diluições elevadas raramente são desejáveis, por razões de natureza metalúrgica e construtiva. O aumento da diluição aumenta a proporção de elementos indesejáveis no banho de fusão, como o carbono que aumenta a temperabilidade ou fósforo e enxofre que aumentam a tendência à fissuração na solidificação. Os elementos citados existem em maior percentagem no M.B. do que nos metais de adição habitualmente utilizados [78]. Todos os materiais de adição devem ser manuseados conforme recomendações do fabricante. Esta condição aplica-se no transporte, armazenamento e utilização.

A2.2 Soldabilidade

O estudo às condições de soldabilidade deve envolver pelo menos a análise dos seguintes fatores [79]:

- Conceção das juntas a soldar
- Suscetibilidade à fissuração por hidrogénio
- Tenacidade e dureza da zona afetada termicamente (ZAC)
- Suscetibilidade à fissuração no arrefecimento
- Suscetibilidade ao arrancamento lamelar
- Corrosão

As propriedades mecânicas e tecnológicas, em especial a dureza e tenacidade da ZAC, medidas numa área estreita, podem ser mais ou menos influenciadas em função dos materiais envolvidos e das condições de soldadura. A experiência adquirida e ensaios revelam que para a prevenção de fenómenos indesejáveis nas soldaduras, devem ter-se em atenção mais fatores do que somente aqueles que estão afetos à redução de propriedades na ZAC, e deve olhar-se para a soldadura como um todo, bem como atentar a todos os fatores que a possam influenciar. Para se conseguir realizar uma soldadura em perfeitas condições, a conceção das juntas a soldar deve atender a uma preparação adequada dos bordos a ligar. Existem

essencialmente duas formas de abordar esta tarefa. A primeira parte do pressuposto de que o processo de soldadura se encontra já definido, e a junta deve atender às suas características de forma a ser adequada a receber a execução da soldadura através do processo definido, em uma determinada condição de trabalho.

Outra forma possível, parte do pressuposto de que a junta deve ser projetada para atender a determinado constrangimento de projeto, e posteriormente selecionar-se-á o processo, e desenvolver-se-ão as condições operatórias que tornam a sua execução possível. Não obstante atender à importância do processo de soldadura a utilizar, fatores como as espessuras a soldar, posições, níveis de penetração desejados, qualidade dos materiais a processar, prevenção e controlo de deformações e até mesmo a economia da preparação e consumo de materiais de adição, são aspetos que devem ser levados em conta nesta fase [79]. Os fatores descritos, também influenciam a seleção do processo de soldadura a empregar. Existem classificados essencialmente cinco tipos de junta. Em função da finalidade para o qual sejam projetadas, atendem a uma dada preparação de um, ou mais bordos a ligar, conforme se mostra a seguir na Tabela 17.

Tabela 17 - Tipos de junta vs tipos de preparação aplicável [80]

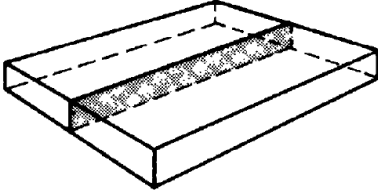
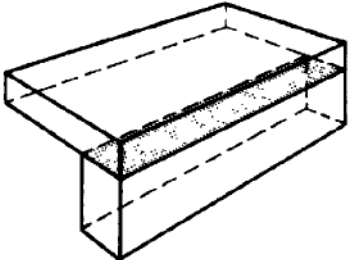
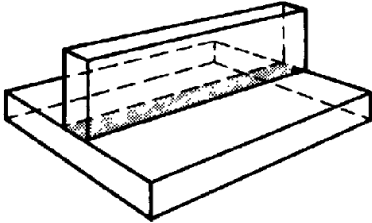
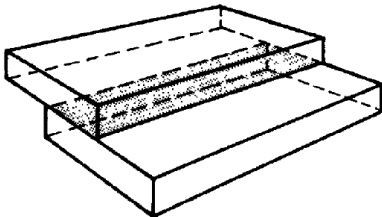
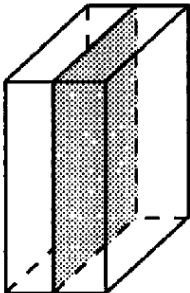
Junta topo-a-topo (BW)	Preparação de Junta Aplicável
	<ul style="list-style-type: none"> em bisel em J em U em V ou $\frac{1}{2}V$ em V de faces rebordadas/convexas aresta rebordada com uma face rebordada/convexa reta/bordos direitos
Junta de Canto (FW)	Preparação de Junta Aplicável
	<ul style="list-style-type: none"> em ângulo em bisel em J em U em V ou $\frac{1}{2}V$ em V de faces rebordadas/convexas com uma face rebordada/convexa rebite belga fenda/entalhe reta/bordos direitos
Junta de Canto em T	Preparação de Junta Aplicável
	<ul style="list-style-type: none"> em ângulo em bisel em J em $\frac{1}{2}V$ reta/bordos direitos com uma face rebordada/convexa rebite belga fenda/entalhe

Tabela 17 - Tipos de junta vs tipos de preparação aplicável [80] (continuação)

Junta Sobreposta	Preparação de Junta Aplicável
	em ângulo em bisel em J em 1/2 V com uma face rebordada/convexa rebite belga fenda/entalhe
Junta em Aresta	Preparação de Junta Aplicável
	em bisel em J em U em V ou 1/2 V com uma face rebordada/convexa em V de faces rebordadas/convexas reta/bordos direitos

A designação que se atribui às juntas está relacionada com natureza da geometria da preparação dos bordos, nomeadamente, conforme se representar na Figura 51.

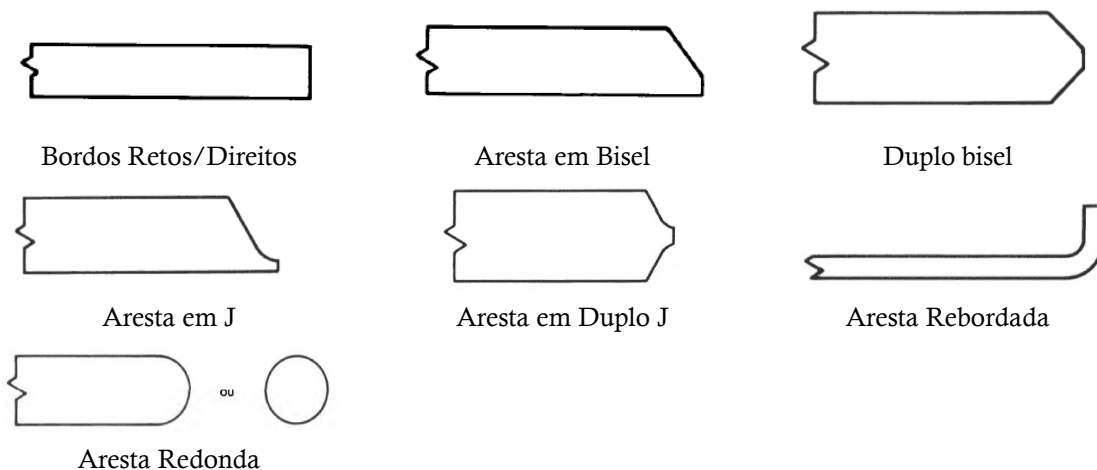
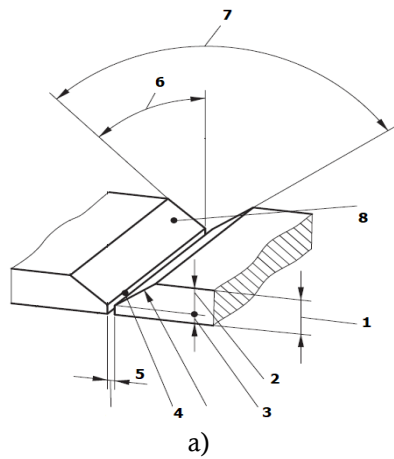
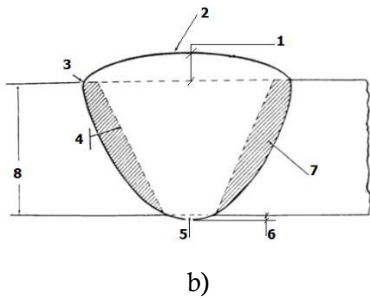


Figura 51 - Geometrias de bordos de juntas de soldadura [80]

Em termos de nomenclatura, é fundamental distinguir as designações atribuídas às várias partes que compõe uma junta de soldadura, bem como dos cordões de soldadura, pelo que a mesma se apresenta a seguir tendo em conta as necessidades expressas do presente trabalho (Figuras 52 e 53)

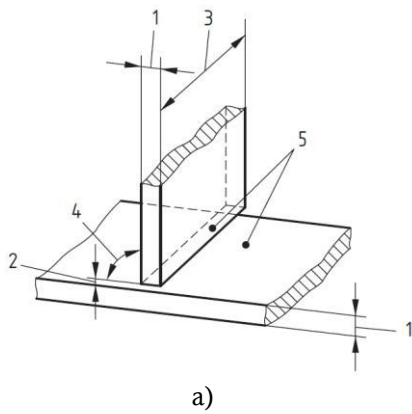


- 1 Espessura de material base
- 2 Profundidade do bisel
- 3 Altura do talão da raiz
- 4 Face do talão da raiz
- 5 Folga
- 6 Ângulo do bisel
- 7 Ângulo do chanfro
- 8 Face do bisel

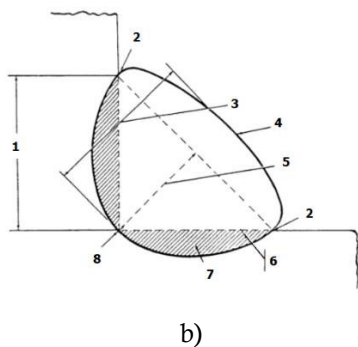


- 1 Sub espessura da face
- 2 Face do cordão
- 3 Pé do cordão (concordância)
- 4 Face original do bisel
- 5 Raiz
- 6 Sub espessura da raiz
- 7 Região fundida do Mat. Base
- 8 Espessura de Mat. Base

Figura 52 – Nomenclatura da junta topo-a-topo a) [81] e do cordão de soldadura b) [82]



- 1 Espessura de material base
- 2 Folga
- 3 Comprimento de soldadura
- 4 Ângulo de inclinação
- 5 Face de fusão



- 1 Cateto de Soldadura
- 2 Pé do cordão (concordância)
- 3 Garganta de soldadura real
- 4 Face do cordão
- 5 Garganta de soldadura teórica
- 6 Face original do Mat. Base
- 7 Região fundida do Mat. Base
- 8 Raiz

Figura 53 - Nomenclatura da junta de ângulo a) [81] e do cordão de soldadura b) [82]

A conceção das juntas a realizar ao abrigo de um determinado projeto, deve ser realizada tendo em conta as orientações específicas e objetivas das normas de produto que se apliquem nesse caso especificamente. No entanto, é comum que a parte aplicável do código possa ser omissa nesta matéria em particular, ou possa remeter para a utilização de normas de carácter geral e aplicação transversal, pelo que nesse caso estas últimas deverão ser seguidas.

Decorrente da análise dos requisitos normativos correspondentes à fabricação de caldeiras industriais (EN 12953-4:2018) é possível segmentar os tipos de junta permitidos em três tipos, em função das ligações que se deseja garantir, bem como a localização relativa ao componente da caldeira, e de acordo com o dimensionamento e preparação propostos no Anexo A da mesma parte da norma [83].

Juntas de penetração total devem ser utilizadas para:

- soldaduras longitudinais e circunferenciais das virolas do corpo, tubo de fugo e câmaras de inversão
- emendas realizadas em tampos
- soldaduras perimetrais entre tampos e virolas exteriores, tubos de fogo, câmaras de inversão e outras de acesso ao interior do equipamento
- soldaduras de tubuladuras com e sem reforço à virola do corpo ou tampos
- soldaduras entre tubos e flanges
- soldaduras de portas homem, ancoragens, e outros reforços ligados à virola exterior ou tubo de fogo.

Juntas de ângulo devem ser utilizadas para as demais situações onde não exista necessidade de garantir a continuidade total na junta.

Outras juntas são as que, não sendo de penetração total, são permitidas para soldar estais de suporte e tubos a tampos.

Para qualquer uma das circunstâncias o detalhe da junta deve fazer parte da especificação de procedimento de soldadura. A suscetibilidade à fissuração induzida por introdução de hidrogénio (ver Figura 54), conhecida também por fissuração a frio pode ocorrer quer na zona fundida, quer na zona termicamente afetada, quando a soldadura já se encontra a baixa temperatura (abaixo dos 300°C). A perigosidade deste tipo de fissuração prende-se com a dificuldade de deteção da sua existência. A somar a esta dificuldade, o seu efeito pode sentir-se várias horas, ou até dias, após a execução da soldadura. Por esse motivo, normas como por exemplo a EN1090, recomendam executar os ensaios não destrutivos respeitando um tempo de espera mínimo após a conclusão das soldaduras, sendo este tempo de espera função das espessuras, classes de materiais envolvidas e entrega térmica [66].

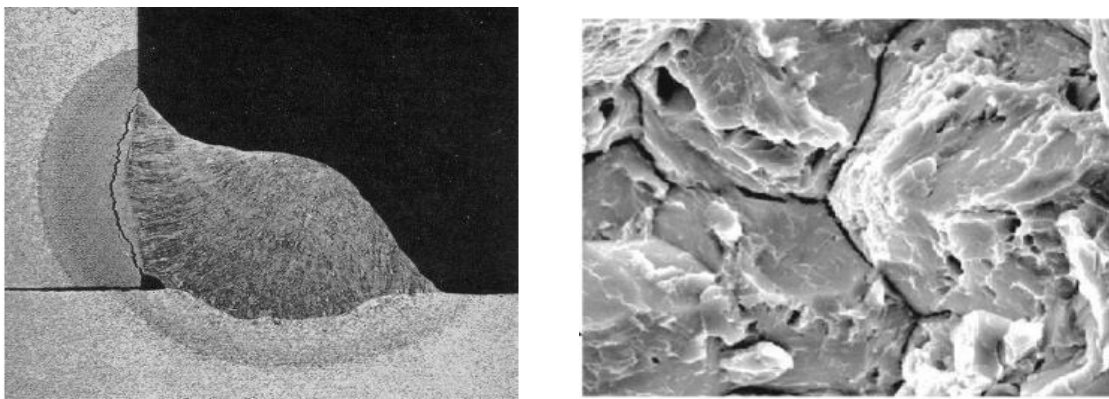


Figura 54 - Morfologia macroscópica (a) [84] e microscópica (b) da fissuração induzida pelo hidrogénio na ZAC [85]

Este tipo de fissuração ocorre quando se verifica a presença de hidrogénio, tensões residuais de tração atuantes na junta, presença de microestruturas suscetíveis e temperaturas baixas. O hidrogénio pode ter origem nos consumíveis de soldadura (revestimentos ou fluxos) ou em contaminações do meio, que quando sujeitos ao arco elétrico decompõe-se e são introduzidos no banho. Portanto recomenda-se a utilização de consumíveis de soldadura não contaminados e controlo sobre as condições contaminantes no perímetro da soldadura. As tensões de tração que foram citadas, derivam da natureza do próprio processo de aquecimento e arrefecimento da soldadura, sendo tão mais elevadas quanto maior for a resistência dos materiais de base a ligar e conseqüente nível de tensão instalado e rigidez da junta. As estruturas suscetíveis, são estruturas duras e frágeis com pouca capacidade de deformação que favorecem fenômenos de fratura na zona fundida ou zona termicamente afetada. Um indicador que permite avaliar esta tendência a partir da composição química do aço, é o cálculo do carbono equivalente (CE) através da expressão 14 [79].

$$CE = C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_r + M_o + V}{5} + \frac{N_i + C_u}{15} \quad (14)$$

Quanto maior for o carbono equivalente, maior será a suscetibilidade e tendência à formação de estruturas duras e frágeis. As regiões onde coexistem a presença de hidrogénio, estruturas duras e tensões de tração são a zona fundida ou a zona termicamente afetada. O hidrogénio é introduzido na zona fundida e tenderá a deslocar-se (difundir-se) para o material base (MB). O átomo de hidrogénio é muito pequeno e pode movimentar-se facilmente entre os átomos de ferro, para zonas de menor concentração de hidrogénio. A velocidade a que ele se desloca é tanto maior, quanto maior for a temperatura a que o aço se encontra. A razão pela qual esta fissuração aparece muitas vezes diferida no tempo tem a ver com a mobilidade destes átomos. Eles só vão atingir a zona onde provocam a fissuração, na zona termicamente afetada por exemplo, ao fim de um certo tempo.

As tensões residuais são implícitas à própria soldadura, e de difícil controlo. Por sua vez a existência de estruturas duras nas soldaduras é função da composição química dos materiais a soldar, que tendencialmente já foram selecionados, e pela entrega térmica. Em termos de estratégias para controlo da suscetibilidade à fissuração a frio podemos adaptar isoladamente ou em conjunto algumas estratégias para trabalho em aços. No que toca ao controlo do hidrogénio com proveniência nos consumíveis e condições do meio, podemos como já foi mencionado, controlar as condições de contaminação do meio e utilizar consumíveis com reduzidos teores de hidrogénio, secos e limpos.

Outra forma passa pelo recurso ao pré-aquecimento, aquecimento entre passes e pós-aquecimento. A aplicação destas fases permitem chegar ou manter a soldadura a uma temperatura favorável à libertação do hidrogénio. Por razões de controlo de custo deverá fazer-se uso da temperatura de pré-aquecimento mais baixa possível.

Em aços não ligados, aços de grão fino e aços de baixa liga (Grupos 1 a 4 da ISO/TR 15608) o cálculo da temperatura de pré-aquecimento, como forma de retardar a velocidade de arrefecimento pode ser determinado conhecendo o **carbono equivalente** (Eq. 3.2), **espessura combinada** da junta a soldar, **teor em hidrogénio difusível de metal depositado** e **entrega térmica** de forma a se puderem consultar os gráficos C.2 da norma EN1011-2 [79].

A espessura combinada de uma junta, é a soma das espessuras médias do metal de base, até 75mm do eixo da soldadura conforme indicado na Figura 55.

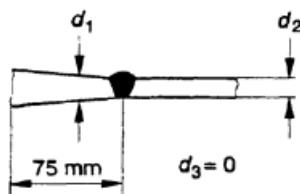


Figura 55 - Representação da espessura combinada numa junta topo a topo [79]

A espessura combinada é o fator utilizado para avaliar a dissipação de calor pela junta, com o objetivo de determinar a sua taxa de arrefecimento. Em função de outras configurações das juntas de soldadura (ver Figura 56) é possível calcular a espessura combinada mediante as equações 15, 16 e 17 [79]. Unidades em milímetros.

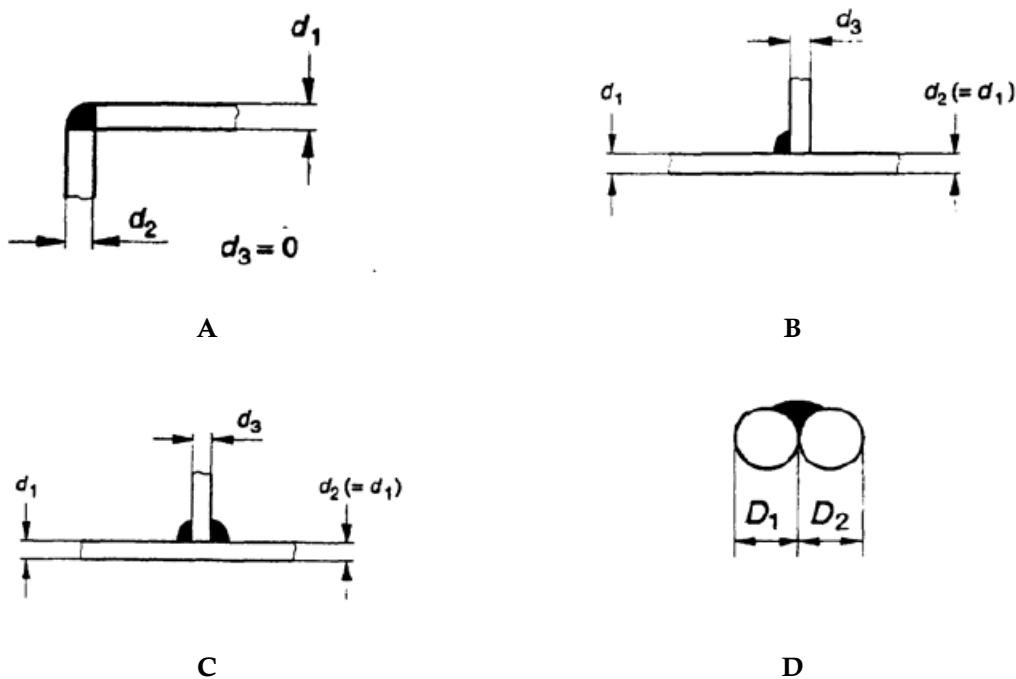


Figura 56 - Esquemas de junta para cálculo da espessura combinada [79]

$$Esp. Combinada [A, B, C^{(1)}] = d_1 + d_2 + d_3 \tag{15}$$

$$Esp. Combinada [D] = \frac{D_1 + D_2}{2} \tag{16}$$

⁽¹⁾Nas juntas de ângulo apostas, cujo depósito seja executado simultaneamente dos dois lados da junta, aplica-se a equação 17.

$$Esp. Combinada = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{2} \tag{17}$$

O teor de hidrogénio difusível, considerando que as condições de limpeza da superfície se verificam e considerando um correto armazenamento e manuseamento do consumível, depende essencialmente da

especificação de fabrico do consumível a ser utilizado, de acordo com as escalas de hidrogénio da Tabela 18.

Tabela 18 - Escalas de Hidrogénio [79]

Teor em hidrogénio difusível (ml/100g de metal depositado)	Escala de Hidrogénio
> 15	A
$10 \leq 15$	B
$5 \leq 10$	C
$3 \leq 5$	D
≤ 3	E

O cálculo da entrega térmica Q em kJ/mm, obedece à equação 18 [79]

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \quad (18)$$

Onde

k	Eficiência térmica do processo, de acordo com a Tabela 19
U	Tensão do arco elétrico, em Volt (V)
I	Intensidade de corrente de soldadura, em Ampère (A)
v	Velocidade de soldadura, em mm/s

Tabela 19 - Eficiência térmica dos processos de soldadura [79]

Nº. do processo de acordo com a EN 4063	k
12	1,0
111	0,8
131, 135, 136, 137	0,8
114	0,8
141	0,6
15	0,6

A soldadura caracteriza-se por ciclos de aquecimento e arrefecimento abruptos, pela natureza do funcionamento do próprio processo. As alterações que acontecem na soldadura decorrem das temperaturas atingidas, das características dos ciclos de arrefecimento e composição química dos materiais. A temperatura atingida em determinada zona depende da sua distância à linha de fusão, o que naturalmente vai implicar uma grande diversidade de estruturas metalúrgicas, como é possível observar na Figura 49, e consequentemente impelir a uma alteração das propriedades mecânicas. O conhecimento dos ciclos térmicos, em particular do arrefecimento, assume determinante importância justamente porque prevendo as estruturas metalúrgicas na região afetada pelo calor, em consequência das transformações decorrentes dos ciclos térmicos, permite um melhor conhecimento do comportamento mecânico de cada zona. Este exercício é possível de se realizar, recorrendo aos diagramas de equilíbrio Fe-C. No entanto em soldadura, os diagramas de equilíbrio não se aplicam, dado que os mesmos consideram que as alterações estruturais ocorrem para tempos infinitos. Por outro lado, o recurso aos diagramas T-T-T (Tempo-Temperatura-Transformação) apenas são úteis para transformações a temperatura constante.

Em soldadura, tanto os tempos de aquecimento como de arrefecimento são rápidos, e quanto maior a velocidade com que o arrefecimento acontece maior a probabilidade de as temperaturas de transformação serem deslocadas para temperaturas mais baixas. A previsão das estruturas metalúrgicas após soldadura, implica conhecer especificamente as curvas de arrefecimento contínuo do material em questão, bem como o ciclo térmico da soldadura especificamente para cada ponto, e ainda leva em conta aspetos conexos como espessuras, formas de junta, entregas térmicas ou pré-aquecimentos, o que se compreende que é impraticável. No seguimento desta limitação surge a aplicação do conceito $t_{8/5}$ [79].

De um modo geral o tempo de arrefecimento, $t_{8/5}$ é usado para caracterizar o ciclo térmico de um passe de soldadura, e corresponde ao tempo que leva a soldadura e a zona termicamente afetada a arrefecerem desde os 800 °C e os 500 °C, de acordo com a equação 19, para aços não ligados e baixa liga em situação de **escoamento de calor tridimensional** [79].

$$t_{\frac{8}{5}} = (6700 - 5 \cdot T_0) \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right) \cdot F_3 \quad (19)$$

Para os mesmos materiais, mas em situação de **escoamento de calor bidimensional**, o cálculo do tempo de arrefecimento é feito à custa da equação 20 [79]

$$t_{\frac{8}{5}} = (4300 - 4,3 \cdot T_0) \cdot 10^5 \cdot \frac{Q^2}{d^2} \cdot \left(\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right) \cdot F_2 \quad (20)$$

Em que:

- Q** Entrega térmica (Equação 18)
- T₀** Temperatura inicial da chapa
- d** Espessura da chapa em mm
- F₂** Fator de forma da soldadura para escoamento de calor bidimensional
- F₃** Fator de forma da soldadura para escoamento de calor tridimensional

O fator de forma das soldaduras encontra-se na Tabela 20.

Tabela 20 - Fator de forma para cálculo do tempo de arrefecimento $t_{8/5}$ [79]



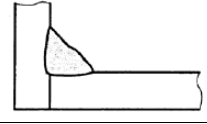
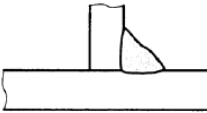
Aplicação	Forma da Soldadura	Fator de forma	
		F ₂	F ₃
		Escoamento Bidimensional	Escoamento Tridimensional
Depósito		1	1
Cordões Intermédios em soldadura topo a topo		0,9	0,9

Tabela 20 - Fator de forma para cálculo do tempo de arrefecimento $t_{8/15}$ [79] (continuação)

Aplicação	Forma da Soldadura	Fator de forma	
		F ₂	F ₃
		Escoamento Bidimensional	Escoamento Tridimensional
Cordão isolado em junta de ângulo		0,9 a 0,67	0,67
Cordão isolado em junta em T		0,45 a 0,67	0,67

No ato da preparação das especificações para fabrico deve ainda estudar-se a eventual propensão à ocorrência do fenómeno de arrancamento lamelar nos materiais laminados. Este fenómeno pode acontecer em certos tipos de junta quando se verificar um elevado nível de solicitações na orientação perpendicular ao sentido de laminagem e um elevado grau de suscetibilidade da própria chapa, provocado pela presença e quantidade de inclusões não metálicas (sulfuretos, silicatos). Em consequência da laminagem, as inclusões vão alongar segundo a direção de laminagem, e quando existir presença de tensões de tração normais às inclusões existe a probabilidade de desenvolvimento de fissuras. O arrancamento lamelar simbolizado na Figura 57 ocorre na zona adjacente à junta de soldadura, na região afetada pelo calor, e assume geralmente uma orientação paralela à superfície da chapa.

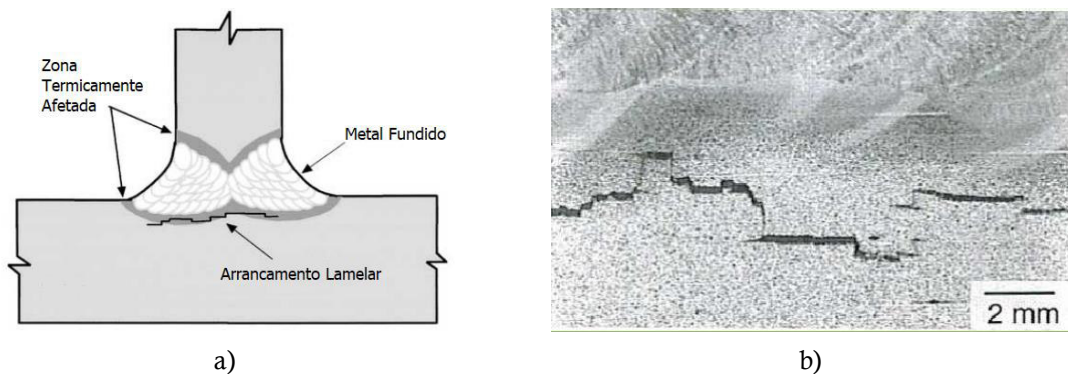


Figura 57 - Representação da morfologia do arrancamento lamelar (a) [86] e análise micrográfica do fenómeno [87]

O método frequentemente utilizado para detetar a presença de inclusões, é a utilização de ensaios de ultrassons, de acordo com a EN 10160 (substituída pela ISO 17577), no material base antes deste ser processado. A ocorrência deste fenómeno depende maioritariamente da qualidade (composição) do aço, no entanto há que ter em conta o procedimento de soldadura, a geometria e conceção da ligação e os níveis de tensões que possam estar em causa [88]. A sensibilidade de um determinado aço ao arrancamento lamelar, é avaliado através de ensaios de tração na direção perpendicular ao sentido de laminagem, que caracterizam a redução da secção transversal dos corpos de prova no ensaio. Estão definidas três classes que representam a mínima redução de área em percentagem no ensaio [89].

Tabela 21 - Valores mínimos de redução de área, Z, por classe [89]

Classe	Redução de Área em %	
	Valor mínimo para e média de três testes	Mínimo valor individual
Z15	15	10
Z25	25	15
Z35	35	25

A redução de área é calculada de acordo com a equação 21 [89].

$$Z = \left(\frac{S_0 - S_u}{S_0} \right) \cdot 100 \quad (21)$$

Onde

- S_0 Secção transversal original
- S_u Secção transversal mínima após fratura

De acordo com a norma EN1011-2 (Figura 58), para chapas com $Z > 20\%$ considera-se que dificilmente existe suscetibilidade ao arrancamento lamelar. Uma vez que o risco de arrancamento lamelar aumenta, com o aumento do nível de esforços atuantes na junta, devem ser tomadas precauções quanto ao desenho das juntas de forma a reduzir situações de elevados constrangimentos e esforços no sentido da espessura.

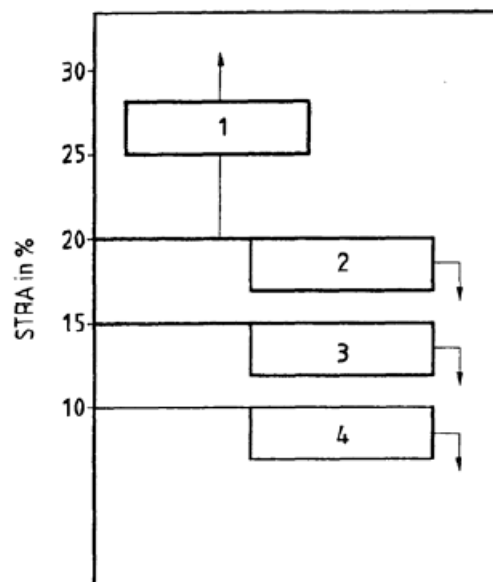


Figura 58 - Valores sugeridos para STRA (Short Transverse Reduction Area) e sua relação com a probabilidade de arrancamento lamelar em juntas com vários níveis de constrangimento [79]

Onde:

- 1 Ausência provável de arrancamento lamelar, para qualquer tipo de junta

- 2 Algum risco de arrancamento lamelar, em juntas altamente constrangidas
- 3 Algum risco de arrancamento lamelar em juntas moderadamente constrangidas
- 4 Algum risco de arrancamento lamelar em juntas pouco constrangidas em T

A exposição a este fenómeno deve ser pensada na fase projeto o mais a montante possível. Duas formas podem ser usadas para controlar esta situação. Ou se selecionam materiais com propriedades garantidas no sentido da espessura, aplicados nas regiões críticas, ou cuidados adicionais de fabrico e inspeção terão de ser consideradas.

A2.3 Critérios afetos à fabricação

Para caldeiras industriais devem ser apuradas a partir do código correspondente, e garantidas, no mínimo as seguintes características, e seus desvios: linearidade ou retitude, irregularidades de perfil, ovalização após conformação, alinhamento entre ligações circunferenciais e longitudinais, posicionamento relativo das soldaduras e tolerâncias gerais que não se sobreponham os critérios específicos que regulam as características mencionadas. No caso particular do tubo de fogo liso a conceção das ligações soldadas aos tampos deve atender aos seguintes requisitos da Figura 59 [83].

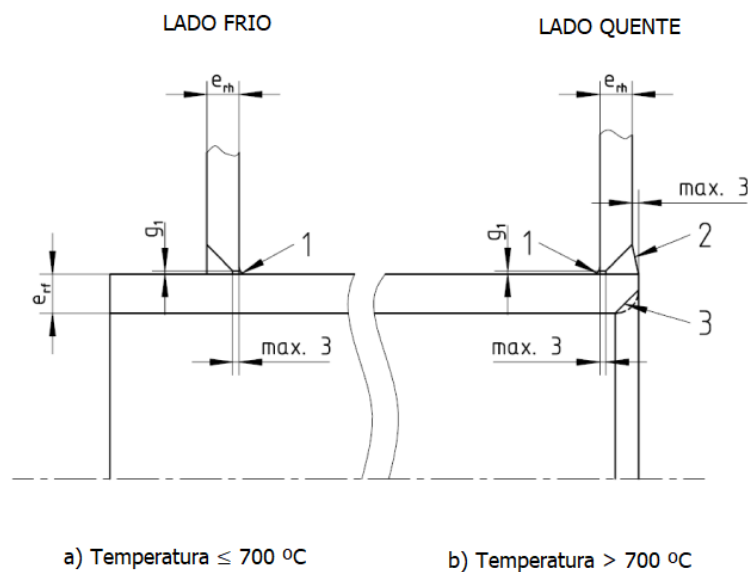


Figura 59 - Pormenores de ligação entre tubo de fogo e tampo do corpo a) e entre tubo de fogo e tampo da câmara de inversão b) [83]

Onde

- 1 Cordão de suporte ou selagem, deve apresentar geometria côncava e:
 - a (garganta efetiva de soldadura) $\geq 3\text{mm}$
 - Caso se execute a soldadura de penetração total com recurso a cobre-junta, deverá ser aplicado 100% de inspeção por controlo não destrutivo de acordo com o preconizado para esta ligação.
- 2 Projeção do tubo, relativamente à virola, máxima de 3 mm, incluindo cordão de soldadura.

- 3 Para níveis de temperatura conforme indicado, é requerido bolear a aresta com raio igual a metade da espessura do tubo de fogo
- g^1 Folga, conforme especificação de procedimento de soldadura
- e_{rf} Espessura do tubo de fogo
- e_{th} Espessura do tampo

Os estais que suportam a câmara de inversão devem ser furados ao longo do seu eixo longitudinal com um diâmetro não superior a 5 mm e a profundidade da furação deve garantir que se prolonga no mínimo 15 mm além do plano dos tampos que contactam a parte inundada. As ancoragens devem ser preparadas de modo a garantir execução de soldaduras de penetração total. Recomenda-se que as soldaduras longitudinais das virolas sejam soldadas de ambos os lados, bem como que toda a pingagem deve ser removida a menos que se consiga garantir a total integridade da soldadura quando a pingagem for incluída [83]. As demais variáveis devem constar das especificações de procedimentos de soldadura necessárias à total definição da aplicação da técnica, incluindo necessidades de aplicação de tratamento térmico de acordo com as disposições da Figura 60.

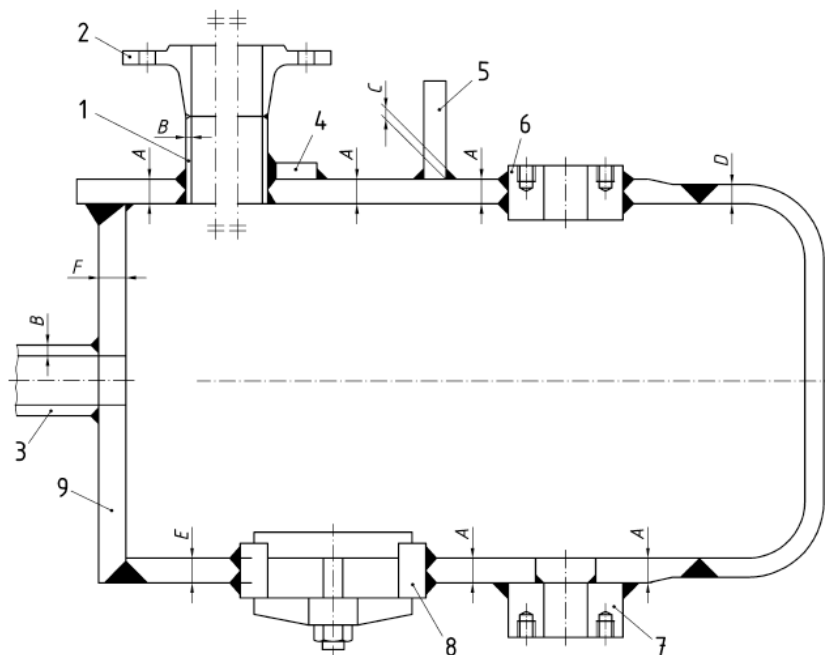


Figura 60 - Espessuras de controlo para aplicação de tratamentos térmicos após soldadura [84]

Onde:

- | | |
|-------------------------|--|
| 1 Tubuladura (set-in) | 5 Parte não sujeita à pressão |
| 2 Flange | 6 Postigo da porta de visita (set-through) |
| 3 Tubuladura (set-on) | 7 Postigo da porta de visita (set-on) |
| 4 Reforço de tubuladura | 8 Postigo da porta homem |

- A Espessura da virola a tubuladuras ou postigos
- B Espessura da ligação tubo-flange, tubo-virola ou tubo-tampo em configuração set-on
- C Espessura da garganta de soldadura no ponto de ligação entre uma parte pressurizada e uma não pressurizada
- D A espessura mais fina entre duas partes soldadas topo a topo, adjacentes, incluindo nos casos de ligação a tampos
- E Espessura da virola em ligações a tampos planos por meio de soldaduras topo a topo nas extremidades
- F Espessura de tampos planos quando montados de forma interior à virola

Necessidades de qualificação de processos, pessoas e requisitos especificados neste âmbito, devem seguir das normas indicadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Normas harmonizadas relativas a qualificações no âmbito de aplicação da EN 12953

Qualificação de Procedimentos de Soldadura	EN ISO 15614-1:2017
Qualificação de Soldadores	EN ISO 9606-1:2017
Qualificação de Operadores de Soldadura	EN ISO 14732:2013
Qualificação de Coordenadores de Soldadura	EN ISO 14731:2006
Especificações de Procedimentos de Soldadura	EN ISO 15609-1:2004

Para se conseguir de forma assertiva determinar a necessidade de qualificações de procedimentos de soldadura, deverá fazer-se um levantamento exaustivo das características do equipamento que constituam variáveis essenciais e eventuais variáveis essenciais suplementares, bem como dos processos de soldadura que se deseje ou necessite empregar.

Caso não exista informação em quantidade suficiente, deve pelo menos ser realizada uma investigação aprofundada sobre a localização, acessibilidade das juntas a soldar e sequência de montagem. A identificação das variáveis e seu agrupamento deve ser feito de forma abrangente, de maneira a satisfazer todas as necessidades de qualificação com o menor número possível de provas.

A Tabela 23 sugere uma metodologia para levantamento das informações necessárias, que servirão para posteriormente enquadrar no normativo correspondente, de forma a obter aos domínios de validade operacional de cada processo de soldadura e soldador.

Tabela 23 - Levantamento de necessidades de qualificação de procedimentos de soldadura e soldadores

		Soldadura N°.			
		W ₁	W ₂	W _n	W _{n+1}
Tipo de Junta					
Processo(s)					
Mat. Base (Qualidade e Grupo)	n				
	n+1				
Forma do Produto	n				
	n+1				
Espessuras	n				
	n+1				
Diâmetro					
Grupo de Mat. Adição	n				
	n+1				
Posição					
Detalhes					

Após determinar o levantamento, deve proceder-se ao desenvolvimento de especificações de procedimento de soldadura preliminares (pEPS), de forma a documentar as provas que se deseje realizar.

As especificações de procedimentos de soldadura por arco elétrico de materiais metálicos, devem conter todas as informações técnicas necessárias à realização das soldaduras que se pretenda executar, e no mínimo devem conter informação específica relativa ao que se identifica na Tabela 24 [65]:

Tabela 24 - Informação requerida para uma pEPS / EPS

1. Fabricante	Identificação Referência ao procedimento de soldadura qualificado
2. Material Base	Designação normalizada Grupo ao qual pertence Gammas de espessura e diâmetros (quando aplicável)
3. Material de adição	Designação comercial e normalizada Tipo e dimensões Condições de manuseamento
4. Disposições transversais	Identificação do(s) processo(s) de soldadura Conceção da junta e sequência de soldadura Detalhes de soldadura e acessórios (quando aplicável) Métodos de preparação e limpeza Posições de soldadura e técnica operatória Grau de mecanização e gabaris (quando aplicável) Caracterização dos parâmetros elétricos de soldadura Modo de transferência (quando aplicável) Necessidades de pré-aquecimento e temperatura entrepasses Necessidades de tratamentos térmicos após soldadura Gas(es) de proteção (quando aplicável) Entrega térmica e fatores que a influenciam

Tabela 24 - Informação requerida para uma pEPS / EPS (Continuação)

5. Disposições particulares (12X, 13X, 14X, 15X)⁽¹⁾	Configuração e número de eléctrodos
	Designação comercial e normalizada de fluxos
	Eléctrodos não consumíveis
	Configuração e número de eléctrodos

⁽¹⁾ 12X - processos de soldadura por arco submerso; 13X – soldadura por arco com fio eléctrodo sob proteção gasosa; 14X - soldadura por arco com eléctrodo refratário sob proteção gasosa; 15X – soldadura por plasma. É permitido que os fabricantes introduzam nas especificações, informações adicionais curtas que sejam necessárias e que complementem os trabalhos a efetuar. É ainda imprescindível que, quando as provas se encontrem definidas por meio de uma especificação preliminar, se siga um treino rigoroso com os soldadores, prévio aos exames de qualificação. As condições de treino que constituam a condição mais favorável, devem ser registadas nas especificações preliminares de procedimentos de soldadura. As especificações de procedimento de soldadura preliminares diferem das qualificadas, no campo correspondente à referência ao procedimento de soldadura, que no caso das preliminares (ainda) não consta.

A norma EN ISO 15614-1 que especifica a qualificação dos procedimentos de soldadura por arco eléctrico e a gás de aços, e soldadura por arco eléctrico de níquel e ligas de níquel, pode ser subdividida nas seguintes três partes. Encontra-se ainda seccionada tendo em conta dois níveis de testes de procedimento que têm influência nas gamas de validade a figurar no procedimento (ver Figura 61).

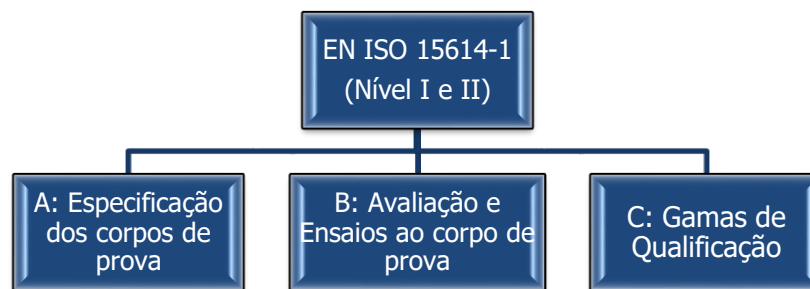


Figura 61 - Estrutura da norma EN ISO 15614-1

O nível dois, é composto por uma extensão de testes e níveis de aceitação superior ao nível um, e a sua gama de validade é mais restritiva e segmentada. Quando as informações forem omissas quanto ao nível a ser utilizado, convencionou-se utilizar o nível dois. Tendo em vista a aplicação prática do normativo, o conteúdo de cada uma das partes encontra-se resumido na Tabela 25.

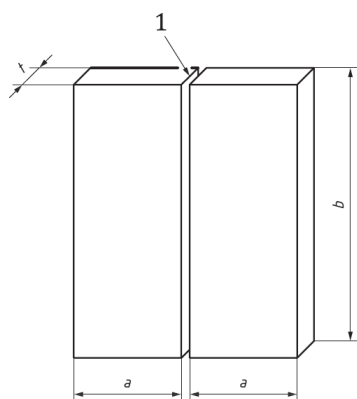
Tabela 25 - Conteúdo da EN ISO 15614-1

A. Especificação dos corpos de prova	Definição das dimensões, formas admissíveis e tipos de junta Definição das condições de execução Definição das condições de supervisão
B. Avaliação dos corpos de prova	Tipos de ensaios a efetuar Localização da extração das amostras de ensaios Normas aplicáveis à execução dos ensaios Condições de ensaio e número de amostras Critérios de aceitação gerais e específicos Condições de repetição (quando aplicável)

Tabela 25 - Conteúdo da EN ISO 15614-1 (continuação)

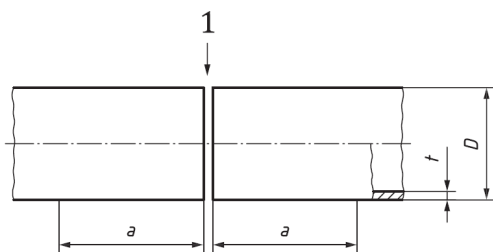
C. Gamas de Qualificação	Variáveis essenciais
	Variáveis essenciais suplementares
	Condições de emissão do Registo de qualificação de
	procedimento de soldadura

Encontra-se perfeitamente definido na norma, qualificações com recurso a juntas topo a topo em chapas e tubos com penetração total, juntas em “T” com e sem penetração total e juntas tipo Picagens (*branch connections*) e nós. As dimensões mínimas, a respeitar e que constituem uma condição de elegibilidade do exame são as que se encontram nas Figuras 62 a 65.



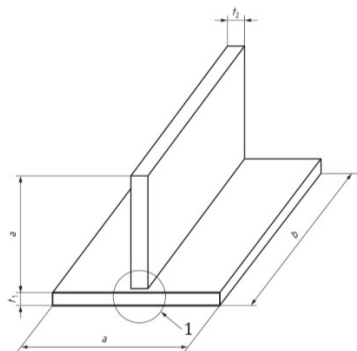
- 1 Junta a preparar conforme EPS
- a Largura mínima de 150 mm
- b Comprimento mínimo de 350 mm
- t Espessura

Figura 62 - Dimensões a respeitar numa prova topo a topo em chapa com penetração total [63]



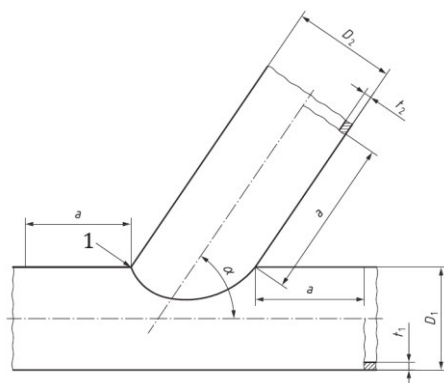
- 1 Junta a preparar conforme EPS
- a Comprimento mínimo de 150 mm
- D Diâmetro exterior
- t Espessura

Figura 63 - Dimensões a respeitar numa prova topo a topo em tubo com penetração total [63]



- 1 Junta a preparar conforme EPS
- a Largura mínima de 150 mm
- b Comprimento mínimo de 350 mm
- t₁, t₂ Espessura

Figura 64 - Dimensões a respeitar numa prova com junta em T [63]



- 1 Junta a preparar conforme EPS
- α Ângulo de picagem
- a Distância mínima
- D_1 Diâmetro do tubo principal
- D_2 Diâmetro do tubo de picagem
- t_1 Espessura do tubo principal
- t_2 Espessura do tubo de picagem

Figura 65 - Dimensões a respeitar numa prova com junta tipo picagem [63]

Na construção de equipamentos sob pressão e em particular em caldeiras, o nível de testes de procedimentos de soldadura aplicável é o nível dois. Desta forma, para as qualificações a realizar, aplica-se o tipo e extensão de ensaios da Tabela 26.

Tabela 26 - Tipo e extensão de ensaios para qualificação de procedimentos de soldadura de acordo com ISO 15614-1 Nível 2 [63]

Tipo de Prova	Ensaio	Extensão do ensaio	Observações
Figura 62 e 63	Inspeção Visual	100%	-
	Radiografia ou Ultrassons	100%	a
	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes	100%	b
	Ensaio de tração transversal	2 provetes	-
	Ensaio de dobragem	4 provetes	c
	Ensaio de impacto	2 sets (1 set = 3 provetes)	d
	Ensaio de dureza	Requerido	3
	Ensaio Macrográfico	1 provete	-
Figura 64 (com penetração total) ou Figura 65 (com penetração total)	Inspeção Visual	100%	-
	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes	100%	b
	Radiografia ou Ultrassons	100%	a, g
	Ensaio de dureza	Requerido	e
	Ensaio Macrográfico	1 provete	-
Figura 64 ou Figura 65 (sem penetração total)	Inspeção Visual	100%	-
	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes	100%	b
	Ensaio de dureza	Requerido	e
	Ensaio Macrográfico	1 provete	-

Em que:

- a Ensaio de ultrassons não devem ser aplicados para espessuras $< 8\text{mm}$ nem para materiais dos grupos 8,10, e de 41 a 48 (ISO15608)
- b Para materiais não magnéticos, aplicar líquidos penetrantes
- c Para espessuras $< 12\text{mm}$, testar dois provetes de face e dois provetes de raiz. Para espessuras $> 12\text{mm}$, em alternativa, podem realizar-se quatro dobragens laterais. Para juntas dissimilares, pode testar-se 1 provete longitudinal de face e raiz, ao invés de quatro dobragens no sentido transversal.
- d 1 set no metal fundido e 1 set na zona termicamente afetada para materiais com espessura ≥ 12 , que tenham requisitos de impacto especificados na sua condição de fornecimento ou na sua condição de serviço. Normas de produto podem requerer ensaios em espessuras $< 12\text{mm}$. As temperaturas de ensaio devem corresponder às condições requeridas pela aplicação do produto.
- e Não requerido para materiais dos grupos 1.1, 8 e do 41 a 48, e juntas dissimilares entre o grupo 1.1 e 8.
- f Quando forem requeridas propriedades mecânicas demonstradas, para juntas de canto, dever ser preparado um exame topo a topo em complemento, realizado nas mesmas condições do de canto.
- g Para diâmetros $\leq 50\text{mm}$ deve aplicar-se radiografia ao invés de ultrassons, por razões de limitação da aplicação da técnica e ensaio.

Os requisitos de ensaios devem ser verificados aquando da elaboração dos procedimentos de soldadura, e exame de qualificação, sob pena de existirem necessidades de ensaios adicionais nas normas de produto ou caderno de encargos, e por falta de análise não se realizem. Quando não for possível aplicar a EN ISO 15614-1 deve aplicar-se a EN ISO 15613, e aplicar os critérios de avaliação da ISO 15614-1. No registo de qualificação de procedimento de soldadura, os efeitos práticos de aplicação da norma para o nível dois, no que toca a gamas de espessura e diâmetros seguem o cálculo proposto nas Tabelas 27 e 28, respetivamente.

Tabela 27 - Gama de qualificação para espessura de material depositado em juntas topo a topo, picagens com penetração total e juntas em T com penetração total [63]

Espessura do corpo de prova, t (mm)	Material Base Nível 2		Gama de espessura de metal depositado, por processo, s (mm)
	Mono-passe	Multi-passe	
$t \leq 3$	$0,5 \cdot t - 2t$	$0,5 \cdot t - 2 \cdot t$	$2 \cdot s$ (máximo)
$3 < t \leq 12$	$0,5 \cdot t$ (min. 3mm) – $1,3 \cdot t$	$3,0 - 2 \cdot t^{(1)}$	$2 \cdot s^{(1)}$ (máximo)
$12 < t \leq 20$	$0,5 \cdot t - 1,1 \cdot t$	$0,5 - 2 \cdot t$	$2 \cdot s$ (máximo)
$20 < t \leq 40$	$0,5 \cdot t - 1,1 \cdot t$	$0,5 - 2 \cdot t$	Para $s < 20$: $2 \cdot s$ (máximo) Para $s \geq 20$: $2 \cdot t$ (máximo)
$40 < t \leq 100$	-	$0,5 - 2 \cdot t$	Para $s < 20$: $2 \cdot s$ (máximo) Para $s \geq 20$: 200 (máximo)
$100 < t \leq 150$	-	$50,0 - 2 \cdot t$	Para $s < 20$: $2 \cdot s$ (máximo) Para $s \geq 20$: 200 (máximo)
$t \geq 150$	-	$50,0 - 2 \cdot t$	Para $s < 20$: $2 \cdot s$ (máximo) Para $s \geq 20$: $1,33 \cdot t$ (máximo)

⁽¹⁾ Quando existirem requisitos de impacto especificados, mas não forem realizados, o domínio de validade é limitado a 12mm; t: espessura do corpo de prova; s: espessura depositada, por processo de soldadura empregue.

Tabela 28 - Gama de qualificação para diâmetros para juntas em tubo e picagens [63]

Diâmetro do corpo de prova (mm)	Gama de qualificação
D	$\geq 0,5 \cdot D$

Em juntas de canto é necessário ter em consideração que a espessura da garganta de soldadura é uma variável essencial, bem como se conseguimos obter a nível operacional essa garganta com recurso a um ou mais passes. Deve-se conjugar esta necessidade de forma a que a gama de qualificação do procedimento seja abrangente suficientemente considerando o nível dois. As gamas de qualificação podem ser apuradas pela aplicação da Tabela 29.

Tabela 29 - Gamas de qualificação para juntas de canto [63]

Espessura do corpo de prova, t (mm)	Gama de Qualificação ⁽²⁾		
	Espessura de Material Base ⁽¹⁾	Espessura da garganta, a (mm)	
		Mono passe	Multi passe
$t \leq 3$	$0,5 \cdot t - 2t$	$1,5 \cdot a - 1,5 \cdot a$	Sem Restrições
$3 < t \leq 30$	$3,0 - 2 \cdot t$		
$t \geq 30$	$\geq 5,0$		

⁽¹⁾ Se as espessuras de ambos os lados da junta for diferente, a gama de validade é calculada para cada espessura; ⁽²⁾ Quando a qualificação da junta de canto for feita por via de uma junta topo a topo, a espessura de cálculo é a espessura de metal depositado, s.

Visto que o equipamento em questão está projetado considerando a aplicação de materiais do grupo 1, a gama de qualificação para o material base permitirá soldar combinações de materiais do mesmo grupo, atendendo aos limites dos valores de tensão de cedência especificados para cada material, de acordo com o agrupamento proposto pela ISO/TR 15608, conforme se apresenta na Tabela 30.

Tabela 30 - Agrupamento de materiais de acordo com a ISO/TR 15608 [90]

Grupo	Subgrupo	Tipo de aço
1 ⁽¹⁾	1.1	Aços com $R_{eH} \leq 275$ MPa
	1.2	Aços com $275 < R_{eH} \leq 275$ MPa
	1.3	Aços de grão fino, normalizados com $R_{eH} > 360$ MPa
	1.4	Aços com resistência melhorada à corrosão atmosférica
⁽¹⁾ Aços com $R_{eH} \leq 460$ MPa e composição química, de acordo com os seguintes percentuais: $C \leq 0,25$; $Si \leq 0,60$; $Mn \leq 1,70$; $Mo^{(a)} \leq 0,70$; $S \leq 0,045$ $P \leq 0,045$; $Cu^{(1)} \leq 0,40$; $Ni \leq 0,5$; $Cr \leq 0,3$; $Nb \leq 0,05$; $V \leq 0,12^{(a)}$; $Ti \leq 0,05$		
⁽²⁾ São permitidos valores mais elevados desde que se verifique: $Cr + Mo + Ni + Cu + V \leq 1\%$		

A gama de qualificação para os materiais de adição segue uma filosofia idêntica à dos materiais base, mas com algumas particularidades. A utilização de um determinado material de adição qualifica além de si próprio, outros da mesma classificação normativa, propriedades mecânicas (após deposição), mesmo tipo de revestimento ou fluxo, mesma composição química nominal e mesmo teor de hidrogénio. As

condições mencionadas terão de se verificar todas. Alterações ao diâmetro do consumível só são permitidas se os limites de entrega térmica não forem ultrapassados, quando existir a necessidade de verificar requisitos de impacto e/ou dureza. Quando não existir essa necessidade não há reservas na alteração das dimensões do material de adição. Adicionalmente quando forem especificados requisitos de resiliência para temperaturas inferiores a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a marca comercial do material de adição passa a variável essencial para os processos 111, 114, 12X, 136 e 132, pelo que a seleção do consumível deve ter isso em consideração [63].

Quando não forem exigidos ensaios de impacto nem de dureza, executar o corpo de prova em uma determinada posição qualifica todas as posições, seja em tubo ou chapa, desde que seja executado um corpo de prova na posição de maior entrega térmica e outro na de menor, e sujeitos (além dos restantes ensaios) a ensaios de impacto e dureza respetivamente. Os ensaios de dureza são retirados da posição de menor entrega térmica (PC, PE), e os de impacto da posição de maior entrega térmica (PA, PF). No entanto, as posições com progressão descendente (PG, PJ e J-L045) devem ser qualificadas independentemente de todas as restantes [64]. As posições normalizadas de exame são as que apresentam na Figura 66.

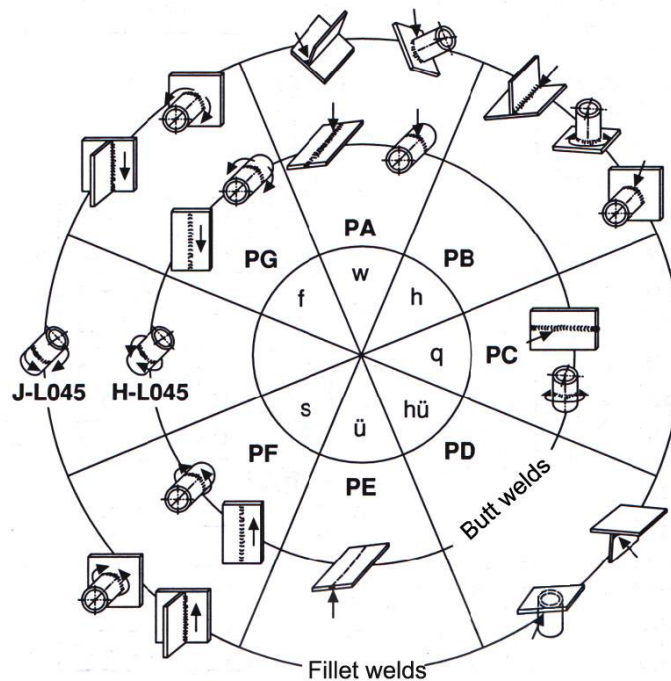


Figura 66 - Posições de exame de qualificação de soldadores e procedimentos de soldadura [91]

Um soldador que execute uma prova de qualificação de procedimento de soldadura e esta seja aceitável, usufrui da presunção de se encontrar também qualificado enquanto soldador, de acordo com a EN 9606-1. Não obstante esta possibilidade existir, é necessário observar atentamente as gamas de qualificação do referencial de qualificação de soldadores, pois os cálculos e condicionantes são diferentes. Deve ser levado em linha de conta desde logo as que afetam as condicionantes relativas às condições de projeto. Na qualificação de soldadores em processos de soldadura por arco elétrico, as gamas de qualificação para espessura depositada são atribuídas de acordo com a Tabela 31 e Tabela 32, para juntas topo a topo e juntas de canto, respetivamente.

Tabela 31 - Gamas de qualificação da espessura depositada em soldaduras topo a topo [61]

Espessura depositada, s	Gama de validade ⁽¹⁾ (mm)
$s < 3$	$s - 3$ ou, $s a 2 \cdot s$ (o maior)
$3 \leq s < 12$	$3 - 2 \cdot s$
$s \geq 12^{(2)}$	3

⁽¹⁾ Para soldaduras mono processo e mesmo tipo de material de adição, s é igual à espessura do material de base, t; ⁽²⁾ O corpo de prova tem de ser soldado em pelo menos três camadas.

Tabela 32 - Gamas de qualificação da espessura de material base em soldaduras de ângulo [61]

Espessura depositada, t	Gama de validade, (mm)
$t < 3$	$t - 2 \cdot t$ ou, 3 (o maior)
$t \geq 3$	≥ 3

As variáveis acima, devem ser conjugadas com os requisitos aplicáveis à utilização de tubos nas provas, pelo que devem atender às gamas de qualificação da Tabela 33 no que diz respeito ao diâmetro.

Tabela 33 - Gamas de qualificação para o diâmetro [61]

Diâmetro exterior do tubo de prova ⁽¹⁾ , t	Gama de validade, (mm)
$D \leq 25$	$D - 2 \cdot D$
$D > 25$	$\geq 0,5 \cdot D$ (min. 25mm)

As qualificações que forem realizadas em chapas, qualificam também soldaduras em tubos fixos com $D \geq 500$ de acordo com as Tabelas 34 e 35, e tubos a rodar com $D \geq 75$ nas posições PA, PB, PC e PD de acordo com as mesmas tabelas. De notar que os referenciais para definição das posições de soldadura na qualificação dos soldadores são os mesmos que servem de base à qualificação de procedimentos de soldadura. O que muda são os domínios de qualificação em função da posição usada.

Tabela 34 - Gama de validade para posições de soldadura em soldaduras topo a topo [61]

Posição da Prova	Gamas de validade				
	PA	PC	PE	PF	PG
PA	+	-	-	-	-
PC	+	+	-	-	-
PE (chapa)	+	+	+	-	-
PF (chapa)	+	-	-	+	-
PH (tubo)	+	-	+	+	-
PG (chapa)	-	-	-	-	+
PJ (tubo)	+	-	-	-	+
H-L045	+	+	+	+	-
J-L045	+	+	+	-	+

+ Posição de soldadura para as quais o soldador fica qualificado a partir da posição da prova

Tabela 35 - Gama de validade para posições de soldadura em soldaduras de ângulo [61]

Posição da Prova	Gamas de validade						
	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG
PA	+	-	-	-	-	-	-
PB	+	+	-	-	-	-	-
PC	+	+	+	-	-	-	-
PD	+	+	+	+	+	-	-
PE (chapa)	+	+	+	+	+	-	-
PF (chapa)	+	+	-	-	-	+	-
PH (tubo)	+	+	+	+	+	+	-
PG (chapa)	-	-	-	-	-	-	+
PJ (tubo)	+	+	-	+	+	-	+

+ Posição de soldadura para as quais o soldador fica qualificado a partir da posição da prova

Relativamente ao domínio de validade dos processos de soldadura, uma alteração de processo requer uma nova qualificação, salvo alteração de fio sólido (135) para fio tubular de alma metálica (138) ou vice-versa. O mesmo se aplica relativamente à soldadura por arco submerso, processo 121 para 125 e vice-versa, que tal como o anterior não requerem nova qualificação. A soldadura com processo 141, 143 ou 145 qualifica os processos 141, 142, 143 e 141.

Nos processos semiautomáticos 131, 135 e 138 o modo de transferência por curto circuito, qualifica todos os modos de transferência, mas o inverso não se verifica. As disposições relativas ao **tipo** de material de adição, que devem ser consideradas no ato da definição da qualificação, são apresentadas na Tabela 36.

Tabela 36 - Gama de qualificação para o tipo de material de adição [61]

Material de adição do corpo de prova	Gama de validade			
	S	M	B	R, P, V, W, Y, Z
Fio elétrodo sólido / vareta sólida (S)	+	+	-	-
Fio tubular/vareta de alma metálica (M)	+	+	-	-
Fio tubular fluxado ou vareta fluxada (B)	-	-	+	+
Fio tubular fluxado ou vareta fluxada (R, P, V, W, Y, Z)	-	-	-	+

+ Material de adição qualificado

No caso de processo de soldadura por elétrodos revestidos (111), tendo em conta a diversidade de revestimentos disponíveis para utilização e polaridade com que é possível utilizá-los, as gamas de validade para qualificar cada tipo pode ser consultada na Tabela 37.

Tabela 37 - Gamas de qualificação para elétrodos revestidos [61]

Processo de Soldadura	Tipo de Revestimento	Gama de validade		
		A, RA, RB, RC, RR, R 03, 13, 14, 19, 20, 24, 27	B 15, 16, 18, 28, 45, 48	C 10, 11
111	A, RA, RB, RC, RR, R 03, 13, 14, 19, 20, 24, 27	+	-	-
	B 15, 16, 18, 28, 45, 48	+	+	
	C 10, 11	-	-	+

+ Revestimento qualificado

Alterações ao grupo de materiais de adição, naturalmente condicionam a qualificação do soldador, pelo que é necessário ter-se em conta o agrupamento dos mesmos e sua respetiva gama de qualificação descrita na Tabela 38.

Tabela 38 - Gamas de qualificação para grupo de material de adição [61]

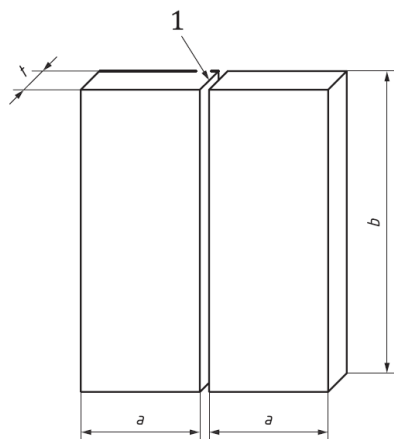
Material de Adição da prova	Gama de validade					
	FM1	FM2	FM3	FM4	FM5	FM6
FM1	+	+	-	-	-	-
FM2	+	+	-	-	-	-
FM3	+	+	+	-	-	-
FM4	+	+	+	+	-	-
FM5	-	-	-	-	+	-
FM6	-	-	-	-	+	+

+ Grupo de material de adição qualificado

Em que:

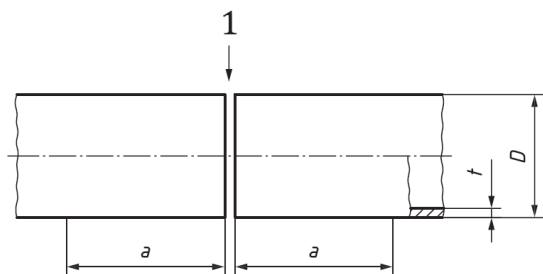
- FM1** Materiais de adição para soldadura de aços não ligados e de grão fino
- FM2** Aços de alta resistência
- FM3** Aços resistentes à fluência com $Cr < 3,75\%$
- FM4** Aços resistentes à fluência com $3,75\% \leq Cr \leq 12\%$
- FM5** Aços inoxidáveis e refratários
- FM6** Níquel e ligas de Níquel

O formato normalizado dos corpos de prova e dimensões para qualificação dos soldadores, são em tudo similares aos utilizados nas provas de qualificação de procedimento, salvo as dimensões mínimas que podem ser utilizadas. Deve ter-se em conta o preconizado nas Figuras 67 a 69.



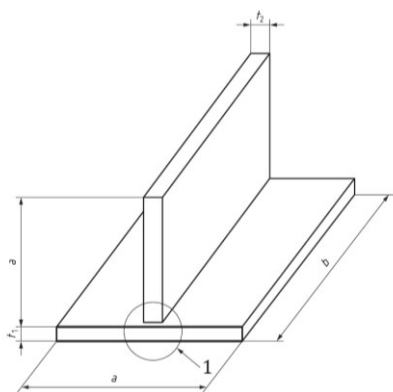
- 1 Junta a preparar conforme EPS
- a Largura mínima de 125 mm
- b Comprimento mínimo de 0 mm
- t Espessura

Figura 67 - Dimensões mínimas do corpo de prova para soldadura topo a topo em chapa [61]



- 1 Junta a preparar conforme EPS
- a Comprimento mínimo de 125 mm
- D Diâmetro exterior
- t Espessura

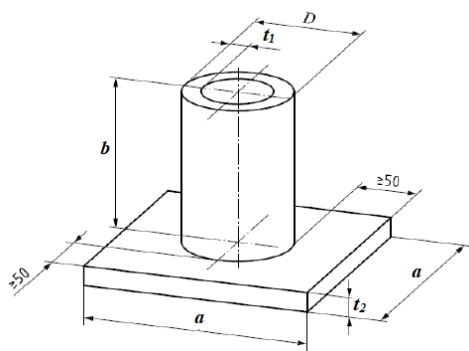
Figura 68 - Dimensões mínimas do corpo de prova para soldadura topo a topo em tubo [61]



- 1 Junta a preparar conforme EPS
- a Largura mínima de 125 mm
- b Comprimento mínimo de 200 mm
- t₁, t₂ Espessura

Figura 69 - Dimensões mínimas do corpo de prova para soldadura de ângulo em chapa [61]

O caso particular de soldaduras entre chapas e tubos, deve ser acatado sempre que exista em obra, e deve ser considerado executar corpos de prova cumprindo a configuração da Figura 70, obviamente dependendo dos diâmetros e espessuras que se queira usar e qualificar.



- 1 Junta a preparar conforme EPS
- a Largura mínima de 125 mm
- b Comprimento mínimo de 200 mm
- t_1, t_2 Espessura

Figura 70 - Dimensões mínimas do corpo de prova para soldadura de ângulo em tubo [61]

Para a qualificação dos soldadores, é necessário que durante a prova sejam executados, no mínimo, uma paragem e um recomeço da soldadura. O objetivo desta atividade é simular na prova, uma situação real de paragem e arranque, no sentido de perceber se o soldador possui competências para conseguir executar este procedimento sem imperfeições inaceitáveis. O caso particular de picagens (ver Figura 71) deve ser testado individualmente e face às necessidades e requisitos do equipamento, pois de acordo com a configuração que as mesmas possam adotar, o cálculo das variáveis sujeitas a gamas altera.

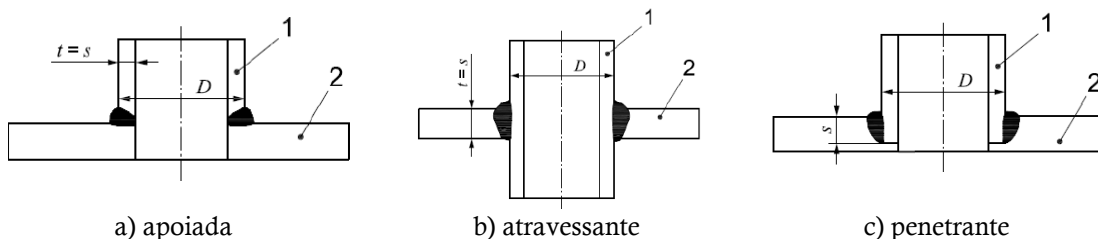


Figura 71 - Tipos de picagem no âmbito da qualificação de soldadores [61]

Em picagens apoiadas, para o cálculo do domínio de validade considera-se a espessura depositada (s) e o diâmetro (D) exterior. Para a picagem atravessante a espessura contabilizada é a da peça que está a ser atravessada (2), bem como o diâmetro exterior do tubo. Já no caso da picagem penetrante a contabilização é feita considerando a espessura total penetrada, e igualmente o diâmetro exterior do tubo (1). Regra geral, condições de execução de exames de maior dificuldade, abrangem a qualificação de provas de execução técnica de menor dificuldade. Fatores que impliquem ou alterem a liberdade de execução das juntas soldadas alteram a técnica operatória. Por esse motivo, deve ser observada a necessidade de, na construção do equipamento em questão, recorrer a meios de apoio ou condições de execução adicionais conforme determinado na Tabela 39.

Tabela 39 - Domínio de validade para juntas de soldadura com suporte ou anéis consumíveis [61]

Condição da prova	Gama de validade					
	ss, nb	ss, mb	bs	ss,gb	ci	ss,fb
ss, nb	+	+	+	+	-	+
ss, mb	-	+	+	-	-	-
bs	-	+	+	-	-	-
ss,gb	-	+	+	+	-	-

Tabela 39 - Domínio de validade para juntas de soldadura com suporte ou anéis consumíveis [61] (continuação)

Condição da prova	Gama de validade					
	ss, nb	ss, mb	bs	ss,gb	ci	ss,fb
ci	-	+	+	-	+	-
ss,fb	-	+	+	-	-	+

+ Detalhes de soldadura qualificados, a partir da condição da prova.

Em que:

ss, nb	Sem junta de suporte
ss, mb	Com junta de suporte
bs	Soldadura de ambos os lados da junta
ss, gb	Com gás de purga
ci	Com utilização de anel consumível
ss, fb	Com fluxo de proteção

As condições descritas na tabela anterior, dizem maioritariamente respeito a condições que verificam as necessidades dos procedimentos de soldadura qualificados, para situações que contemplem recurso à técnica auxiliada/condicionada pelos fatores descritos. Nas soldaduras em junta de ângulo, deve ter-se em conta a necessidade de executar as soldaduras em multipasses, do ponto de vista do equipamento e da competência para o soldador. Na qualificação de soldadores existe domínio de validade para o número de camadas depositadas, de acordo com a Tabela 40.

Tabela 40 - Gama de validade para número de camadas em soldaduras de ângulo [61]

Corpo de prova	Gama de validade	
	Monocamada (sl)	Multicamada (ml)
Monocamada (sl)	+	-
Multicamada (ml)	+	+

+ Sequência de soldadura qualificada

Recomenda-se que, sempre que for possível, se recorra a corpos de prova em multicamada por ser mais abrangente, e não ter impacto significativo em outras variáveis que não somente a (eventual) dificuldade acrescida para o soldador. O conjunto das variáveis mencionadas nas Tabelas 39 e 40 acima, são considerados pela norma de qualificação como detalhes de soldadura. Tendo em conta que o objetivo das qualificações de soldadores passa por verificar que os mesmos produzem soldaduras isentas de imperfeições, e não por verificar propriedades mecânicas ou metalúrgicas, o conjunto de ensaios a que os corpos de prova são sujeitos é substancialmente mais reduzido do que o aplicado na qualificação de procedimentos de soldadura. Os métodos de ensaio aplicáveis, de acordo com o tipo de junta são os que figuram na Tabela 41

Tabela 41 - Métodos de ensaio aplicáveis [61]

Método de ensaio	Soldaduras topo a topo (chapa ou tubo)	Soldaduras de ângulo e picagens
Inspecção Visual (ISO17637)	Obrigatório	Obrigatório
Ensaio radiográfico (ISO17636)	Obrigatório ^{(1),(2),(3)}	Não Obrigatório

Tabela 41 - Métodos de ensaio aplicáveis [61] (continuação)

Método de ensaio	Soldaduras topo a topo (chapa ou tubo)	Soldaduras de ângulo e picagens
Ensaio de dobragem (ISO 5173)	Obrigatório ^{(1),(2),(4)}	Não Aplicável
Ensaio de fratura (ISO 9017)	Obrigatório ^{(1),(2),(4)}	Obrigatório ^{(5),(6)}

Observações:

- (1) Ensaio radiográfico **ou** ensaios de dobragem **ou** ensaio de fratura
- (2) Nos processos 131, 135, 138 e 311, o ensaio radiográfico tem de ser complementado com ensaio de dobragem **ou** de fratura
- (3) Em aços ferríticos, o ensaio radiográfico pode ser substituído por ensaio de ultrassons de acordo com a ISO 17640 se a espessura for superior ou igual a 8 mm
- (4) Para diâmetros inferiores ou iguais a 25mm, o ensaio de dobragem ou fratura pode ser substituído por ensaios de tração com entalhe. Entalhes de acordo a ISO 9017
- (5) Ensaio de fratura em tubos podem ser substituídos por ensaios macrográfico conforme ISO 17639, em duas secções do perímetro, em que pelo menos uma inclua a paragem o recomeço da soldadura.
- (6) Ensaio de fratura em tubos podem ser substituídos por ensaios radiográficos

Todas as disposições mencionadas devem ser consideradas de forma a, após a aplicação dos critérios que ditam as gamas de validade, se obter as gamas de qualificação que sirvam todos os casos de construção. Isto é válido no levantamento de necessidades de qualificação de procedimentos e soldadores. É fundamental realizar ambas as atividades em simultâneo atendendo a que, havendo critérios diferentes para as mesmas variáveis, poderá ocorrer uma lacuna de abrangência do domínio em algum caso. Ou nas gamas de qualificação finais dos procedimentos de soldadura, ou dos soldadores.

A2.4 Critérios afetos à inspeção

É comum que se tenda a resumir a inspeção às etapas de controlo operacional por via de ensaios destrutivos ou não destrutivos. No entanto, é muito importante ter em mente que no campo da construção soldada o controlo aplica-se antes, durante e após soldadura, e nem sempre compreende a utilização de qualquer técnica de ensaio. Ao invés disso, por exemplo, pode tão somente ser uma inspeção no sentido da verificação de alguma etapa cumprida a montante. O caso prático demonstrativo disso mesmo são os códigos de construção de caldeiras e outros, que dedicam pelo menos uma das suas partes à inspeção e incluem nessa parte (além da inspeção operacional por via da aplicação das técnicas de ensaios) várias atividades onde os ensaios não têm uma intervenção direta. Estas etapas geralmente contemplam verificação de especificações antes da construção, durante a construção e após construção.

O nível de inspeção aplicado e a extensão dos ensaios não destrutivos depende diretamente do módulo de avaliação da conformidade, pelo que deve ser determinado e conhecido o mais cedo possível. Esta consideração pode inclusive ter um impacto elevado no custo. Todas atividades de inspeção, de acordo com a norma de produto, devem ser listadas como orientação em todas as etapas que sejam necessárias à construção. Deve referenciar os envolvidos, bem como as suas competências, sejam internas ou de subcontratação (ex: técnicos de controlo não destrutivo certificados). No mínimo as seguintes etapas deverão ser alvo de atividades inspeção [92].

- Projeto e documentação geral
- Materiais
- Fabrico e soldadura
- Controlo não destrutivo

- Operações especiais quando aplicável (Ex. Tratamentos térmicos)
- Inspeção final

Outro fator que influencia a extensão dos ensaios não destrutivos é o fator de soldadura. Para o cálculo da espessura requerida dos componentes que compõe a caldeira as fórmulas de cálculo levam em linha de conta do fator de soldadura, que influencia diretamente a extensão dos ensaios não destrutivos a ser realizados.

O fator de soldadura é o termo traduz uma medida de eficiência e conseqüente confiabilidade das juntas soldadas, e refere-se ao quociente entre o valor de resistência da junta soldada e a resistência do material base. Por exemplo, um fator de soldadura 1,0 implica que a junta de soldadura deve assegurar no mínimo a mesma resistência às solicitações que os materiais de base empregues. No âmbito da caldeira em estudo, os fatores de soldadura possíveis de se utilizar são 0,7, 0,85 ou 1,0, em função do tipo de soldadura e localização da mesma no equipamento [21]. A seleção do fator de soldadura é feita na fase de projeto, pelo que nessa fase o projetista deverá equacionar o balanço de custos associados ou a um acréscimo de material em benefício de uma extensão menor de ensaios, ou vice-versa. Exclui-se a afetação do fator de soldadura à inspeção visual, que tem de ser feita sempre à totalidade das soldaduras do equipamento. No âmbito da utilização da diretiva 2014/68/EU, o emprego dos fatores de soldadura ou também designados coeficientes de junta, implicam o especificado na Tabela 42.

Tabela 42 – Coeficiente de junta e amplitude da aplicação dos ensaios [46]

Coeficiente de junta	Aplicação dos ensaios
1,0	Verificação da totalidade das juntas soldadoras através de métodos destrutivos e não destrutivos
0,85	Ensaio não destrutivos realizados por amostragem
0,7	Não existe submissão a mais ensaios

Em rigor, as informações colhidas no código devem figurar no plano de inspeção e ensaios que guia toda construção, bem como após a sua realização devem ser assinadas pelos seus intervenientes e validadas por quem de direito. Caso exista a necessidade de executar testemunhos de fabrico, as condições de execução, ensaios e repetições devem ser devidamente especificadas. Esta metodologia deve aplicar-se também a reparações que, geralmente, observam condições específicas e limitações na sua realização. A determinação dos níveis de aceitação requeridos para cada técnica de ensaio não destrutivo utilizada, bem como o nível de qualificação requerido para o técnico executante, fazem parte da preparação das tarefas de inspeção. Há que levar em linha de conta que os critérios de aceitação para todas as técnicas de ensaio aplicadas, devem observar indispensavelmente os requisitos da norma de produto, sob pena de a análise puder ser enquadrada em critérios de aceitação de caráter generalista e/ou diferente do que diretiva e/ou a norma de produto estabelecem. O mesmo se aplica para os ensaios destrutivos, com exceção do nível de qualificação do técnico, que não necessita de qualificação específica para executar os ensaios. Nesse caso o requisito recai sobre a acreditação dos laboratórios, para cada determinado tipo de ensaio destrutivo.

A hipótese de eventuais reparações que possam ocorrer deve naturalmente ser considerada. Quando a aplicação de ensaios não destrutivos revelar imperfeições inaceitáveis, entenda-se defeitos, há requisitos adicionais que devem ser cumpridos antes de realizar a reparação. Caso o defeito ocorra nas imediações de um cruzamento entre soldaduras terá de se realizar uma verificação no prolongamento de cada soldadura do cruzamento, e de cada lado do cruzamento conforme Figura 72 – X1, X2 e X3 [92].

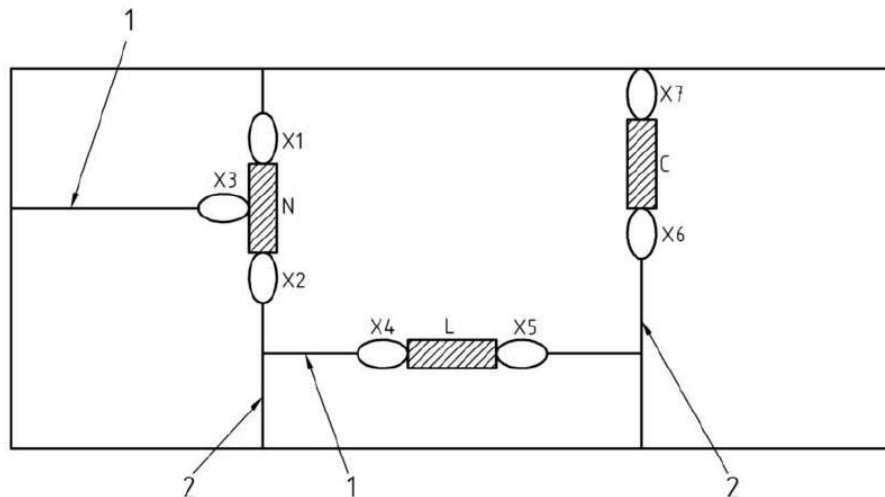


Figura 72 - Ensaio adicionais a soldaduras com imperfeições inaceitáveis

Onde:

- 1 Soldadura longitudinal
- 2 Soldadura circunferencial
- X1,..., X7 Pontos de verificação adicional
- N Defeito na região de cruzamento
- L Defeito em soldadura longitudinal
- C Defeito em soldadura circunferencial

Quando o defeito se encontra em soldaduras longitudinais e circunferenciais, e em particular nas longitudinais por serem as mais solicitadas, uma verificação adicional deve ser aplicada de cada lado do defeito (Ver Figura 72 – X4, X5, X6 e X7). Todas as verificações adicionais devem ter uma extensão mínima de 200mm. Se após a aplicação dos ensaios adicionais, as imperfeições voltarem a existir, todo o cordão deve ser inspecionado, bem como todas as demais soldaduras realizadas pelo mesmo soldador que tenham sido executadas com o mesmo procedimento de soldadura. Qualquer reparação que se realize, deve ser efetuada recorrendo a um procedimento de soldadura qualificado e deve igualmente ser inspecionada na sua totalidade, através do mesmo ensaio preconizado para a soldadura original [92].

A2.5 Referências Bibliográficas

- [1] V. Ganapathy, *Steam Generators and Waste Heat Boilers for Process and Plant Engineers*, Flórida: CRC Press, 2015.
- [2] K. Vyas, “Pressure vessel design by analysis versus design by rule,” 2017.
- [3] T. Andualem e T. Markos, “Design of Pressure Vessel,” University of Gondar, Institute of Technology Department of Mechanical and Industrial Engineering Machine Design, Ethipia, 2017.
- [4] T. P. Pastor, *Section VIII - Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels.*, 4th ed., New York: ASME Press, 2012.
- [5] M. B. Bickell e C. Ruiz, *Pressure Vessel Design and Analysis*, London: Macmillan Education, 1967.
- [6] C. Exergy Solutions Worldwide, “Steam Boiler Plant Solutions,” [Online]. Available: <https://cochran.co.uk/products/steam-boilers.aspx>. [Acedido em 2020].
- [7] Indiamart, “Stainless Steel Horizontal Pressure Vessels,” [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/horizontal-pressure-vessels-15549294673.html>. [Acedido em 2020].
- [8] S. Energy, “Efficient on-site power supply,” [Online]. Available: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/industrial-power-plants.html>. [Acedido em 2020].
- [9] S. Lawate e B. B. Deshmukh, “Analysis of Heads of Pressure Vessel,” *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 4, nº 2, 10 02 2015.
- [10] ASME BPVC VIII Division I - Boiler and Pressure Vessel Code - Division 1: Rules for construction of pressure vessels, New York: American Society of Mechanical Engineers, 2019.
- [11] DIN 28013:1993 - Ellipsoidal Dished Ends, Cologne: Carl Heymanns Verlag, 1993.
- [12] DIN 28011:2012 - Torispherical Dished Ends, Berlin: German Institute for Standardization, 2012.
- [13] W. Bödenpresswerke, “Weisstaler Flat Head,” [Online]. Available: <https://weisstaler.de/en/flat-head.html>. [Acedido em 2020].
- [14] M. H. Jaward e J. R. Farr, *Structural Analysis and Design of Process Equipment*, 3rd ed., Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.
- [15] Parmigliani, “Dishing Units,” [Online]. Available: <http://www.parmigliani.net/dishing-press-gallery.html>. [Acedido em 2020].
- [16] C. Slawinski, “Dishing generates the bottom contour,” [Online]. Available: <https://www.slawinski.co.uk/production/dishing/>. [Acedido em 2020].
- [17] C. Slawinski, “Flanging the bottom – attaining the final shape,” [Online]. Available: <https://www.slawinski.co.uk/production/flanging/>. [Acedido em 2020].
- [18] Himmash, “Himmash - Mastering the Pressure,” [Online]. Available: http://www.himmash.com/?page_id=259&lang=en. [Acedido em 2020].
- [19] EN 13445-3:2014/A8:2019 - Unfired Pressure Vessels - Part 3: Design, Brussels: European Committee for Standardization, 2019.
- [20] ASME B31.3:2018 - Process Piping - ASME Code for Pressure Piping, New York: American Society of Mechanical Engineers, 2018.
- [21] EN 12953-3:2016 - Shell Boilers - Part 3: Design and Calculation for Pressure Parts, Brussels: European Committee for Standardization, 2016.

- [22] Wermac, “Explore the World of Piping,” [Online]. Available: http://www.wermac.org/specials/branch_reinforced.html. [Acedido em 2020].
- [23] V. Kumar, N. Kumar, S. Angra e P. Sharma, “Design of Saddle Support for Horizontal Pressure Vessel,” *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 2014.
- [24] M. AD2000, AD 2000 S 3/2 - General Verification os Stability for Pressure Vessels: Verification of load-carrying capacity for horizontal vessels on saddle supports, 2004.
- [25] Tradeford, “Spherical Tanks, Pressure Vessels,LPG Mixers, Functional Skids,” [Online]. Available: https://www.tradeford.com/vn511413/spherical-tanks-pressure-vessels-lpg-mixers-functional-skids_p855878.html. [Acedido em 2020].
- [26] Indiamart, “SS White Nitrogen Storage Tank,” [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/nitrogen-storage-tank-10504773197.html>. [Acedido em 2020].
- [27] D. R. Moss, Pressure Vessel Design Manual, Third ed., Oxford: Gulf Professional Publishing, 2004.
- [28] J. F. Harvey, Theory and Design of Pressure Vessels, Third ed., Springer US, 1985.
- [29] C. P. Vessels, “Mini vessels and rotational welding,” [Online]. Available: <http://mini-vessels.co.uk/index.php?page=stainless-steel-air-receivers>. [Acedido em 2020].
- [30] STI/SPFA, “Product Awards Winners - Fabricated Product of the Year,” [Online]. Available: <https://www.steeltank.com/FabricatedSteelProducts/AwardWinningProducts/2013ProductAwardWinners/tabid/615/Default.aspx>. [Acedido em 2020].
- [31] Engineering.com, “Pressure Vessel Skirt Sizing,” [Online]. Available: <https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=448820>. [Acedido em 2020].
- [32] F. J. M. Juanico, Geradores de Calor, Rio Tinto: Centro Europeu para a Economia e Gestão de Energia da Indústria, 1992.
- [33] M. A. Malek, Heating Boiler Operator's Manual - Maintenance, Operation and Repair, New York: McGraw-Hill Education, 2007.
- [34] F. T. C. ltd, “Vertical Thermal Oil Boiler,” [Online]. Available: <https://olymspan1021.en.made-in-china.com/product/jouxnqaMXsrS/China-Vertical-Thermal-Oil-Boiler.html>. [Acedido em 2020].
- [35] Z. B. C. ltd, “Techical Knowledge,” [Online]. Available: <https://www.zbgboiler.com/FAQ/207.html>. [Acedido em 2020].
- [36] Indiamart, “Solid Fuel and Biomass Fired Boilers,” [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/greens-power-equipment-india/solid-fuel-and-biomass-fired-boilers.html>. [Acedido em 2020].
- [37] Indiamart, “FBC Boilers for Saturated Steam,” [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/ibl-agropak-the-unique-fbc-boiler-20033530688.html>. [Acedido em 2020].
- [38] B. Wanson, “Fire Tube Steam Boilers - BWD Series,” [Online]. Available: <https://www.babcock-wanson.com/products/steam-boilers/bwd-series/>. [Acedido em 2020].
- [39] S. Boiler, “SZS Gas & Oil Water Tube Boiler,” [Online]. Available: <https://www.sitong-boiler.com/product/oil-gas-fired-boiler/szs-gas-oil-water-tube-boiler.html>. [Acedido em 2020].
- [40] S. Sarco, “Shell Boilers,” [Online]. Available: <https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/the-boiler-house/shell-boilers>. [Acedido em 2020].
- [41] Indiamart, “Electrical Steam Boiler,” [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/electric-steam-boiler-11690772462.html>. [Acedido em 2020].

- [42] W. S. Hutton, *Steam-Boiler Construction; A Practical Handbook for Engineers, Boiler-Makers & Steam Users*, Miami: Rarebooksclub, 2012.
- [43] Weishaupt, “WM-series burners,” [Online]. Available: <https://www.weishaupt.co.uk/produkte/brenner/mittel-und-grossbrenner-kw/weishaupt-brenner-typenreihe-wm-monarch-r-55-5.500-kw>. [Acedido em 2020].
- [44] Vyncke, “Multifluel Combustion Technology,” [Online]. Available: <https://www.vyncke.com/solutions/our-combustion-technology/>. [Acedido em 2020].
- [45] IPQ, “Normalização,” [Online]. Available: <http://www1.ipq.pt/PT/Normalizacao/Pages/Normalizacao.aspx>. [Acedido em 2020].
- [46] Diretiva 2014/68/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de Maio de 2014 - Relativa à harmonização da legislação dos Estados-Membros respeitante à disponibilização de equipamentos sob pressão no mercado, *Jornal Oficial da União Europeia*. Bruxelas, 2014.
- [47] Decreto Lei n.º. 211/99 de 14 de Junho. *Diário da Republica* n.º. 136 - I Série-A, Ministério da Economia. Lisboa, 1999.
- [48] Decreto Lei n.º. 32/2015 de 4 de Março. *Diário da República* n.º. 44 - I Série., Ministério da Economia. Lisboa, 2015.
- [49] Decreto Lei n.º. 111-D/2017 de 31 de Agosto. *Diário da República* n.º. 168 - I Série., Ministério da Economia. Lisboa, 2017.
- [50] Resolução do Conselho de 07 de Maio de 1985 - Relativa a uma nova abordagem em matéria de harmonização técnica e de normalização, *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. Bruxelas, 1985.
- [51] Comunicação da Comissão - Guia Azul de 2016 sobre a aplicação das Regras da UE em matéria de Produtos, de 26 de Julho, *Jornal Oficial da União Europeia*. Bruxelas.
- [52] IPQ, “Diretivas Nova Abordagem,” [Online]. Available: <http://www1.ipq.pt/pt/assuntoseuropeus/marcacaoce/listadasdirectivas/Pages/ListaDirectivas.aspx>. [Acedido em 2020].
- [53] Regulamento N.º. 1025/2012 do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Outubro de 2012 - Relativo à normalização europeia, que altera as Diretivas 89/686/CEE, 93/15/CEE, 94/9/CE, 94/25/CE, 95/16/CE, 97/23/CE, 98/34/CE, 2004/22/CE, 2009/23/CE e 2009/105/CE, *Jornal Oficial da União Europeia*. Bruxelas, 2012.
- [54] E. Commission, “Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs - CE Marking,” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking_en. [Acedido em 2020].
- [55] Decisão n.º. 768/2008/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 09 de Julho - Relativa a um quadro comum para a comercialização de produtos., *Jornal Oficial da União Europeia*. Bruxelas, 2008.
- [56] Regulamento N.º. 1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2008 - Relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas, *Jornal Oficial da União Europeia*. Bruxelas, 2008.
- [57] IPQ, “Organismos Notificados,” [Online]. Available: <http://www1.ipq.pt/pt/assuntoseuropeus/marcacaoce/organismosnotificados/Pages/OrganismosNotificados.aspx?View=%7B47629372-9cb5-40dd-9562-0fbaedf05aa4%7D&SortField=Title&SortDir=Asc>. [Acedido em 2020].
- [58] E. Commission, “Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs - Notified bodies Nando,” [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/>.
- [59] EN 12953-1:2012 - Shell Boilers. Part 1: General, Brussels: European Committee for Standardization, 2012.

- [60] ISO/TR 581:2005 - Metallic Materials - General Principles, Geneva: International Standardization Organization, 2005.
- [61] EN ISO 9606-1:2017 - Qualification testing of welders. Fusion welding. Part 1: Steels, Brussels: European Committee for Standardization, 2017.
- [62] ISO/TR 25901-1:2016 - Welding and allied processes - Vocabulary - Part 1: General Terms, Geneva: International Organization for Standardization, 2016.
- [63] EN ISO 15614-1:2017/A1:2019 - Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure test. Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys, Brussels: European Committee for Standardization, 2019.
- [64] EN ISO 15607:2019 - Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. General rules, Brussels: European Committee for Standardization, 2019.
- [65] EN ISO 15609-1:2019 - Specification and qualification of welding procedures. Welding procedure specification. Part 1: Arc Welding, Brussels: European Committee for Standardization, 2019.
- [66] EN 1090-2:2018 - Execution of steel structures and aluminium structures. Part 2: Technical Requirements for Steel Structures, Brussels: European Committee for Standardization, 2018.
- [67] EN ISO 14731:2019 - Welding Coordination - Tasks and Responsibilities, Brussels: European Committee for Standardization, 2019.
- [68] EN ISO 3834-1:2005 - Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements, Brussels: European Committee for Standardization, 2005.
- [69] EN ISO 3834-5:2015 - Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Part 5: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4, Brussels: European Committee for Standardization, 2015.
- [70] Regulamento N.º. 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de 9 de Março de 2011 - Que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção, Jornal Oficial da União Europeia. Bruxelas, 2011.
- [71] EN 10028-2:2017 - Flat products made of steels for pressure purposes. Part 2: Non-alloy and alloy steels with specified elevated temperature properties, Brussels: European Committee for Standardization, 2017.
- [72] EN 10216-2: 2013/A1:2019 - Seamless steel tubes for pressure purposes. Part 2: Technical delivery conditions. Non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature, Brussels: European Committee for Standardization, 2019.
- [73] EN 1092-1:2018 - Flanges and their joints. Circular flanges for pipes, valves, fittings and accessories, PN designated. Part 1: Steel flanges., Brussels: European Committee for Standardization, 2018.
- [74] M. G. Sweden, "Hot Rolling of sheets," [Online]. Available: <https://www.manufacturingguide.com/en/hot-rolling-sheets>. [Acedido em 2020].
- [75] ISO 6892:2019 - Metallic Materials - Tensile Testing. Part 1: Method of test at room temperature, Geneva: International Standardization Organization, 2019.
- [76] R. M. Mendes Miranda e E. M. Dias Lopes, Metalurgia da Soldadura, Lisboa: Instituto de Soldadura e Qualidade, 1993.
- [77] K. Easterling, Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, Butterwords, 1992.
- [78] S. Kou, Welding Metallurgy, Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.
- [79] EN 1011-2:2001 - Welding Recommendations for welding of metallic materials. Part 2: Arc welding of ferritic steels, Brussels: European Committee for Standardization, 2001.

- [80] AWS A03.0M/A3.0:2020 - Standard Welding Terms and Definitions Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying, Miami: American Welding Society, 2020.
- [81] BS 499-1:2009 - Welding terms and symbols. Part 1: Glossary for welding, brazing and, London: British Standards Institution, 2009.
- [82] W. Guru, "Nomenclature of Welds," [Online]. Available: <https://weldguru.com/smaw-nomenclature-joints/>. [Acedido em 2020].
- [83] EN 12953-4:2018 - Shell Boilers. Part 4: Workmanship and construction of pressure parts of the boiler, Brussels: European Committee for Standardization, 2018.
- [84] P. Engineering, "Weld Imperfections : Hydrogen Induced Crack," [Online]. Available: <https://www.pipingengineer.org/weld-imperfections-hydrogen-induced-cracks/>. [Acedido em 2020].
- [85] O. Schwedler, M. Zinke e S. Jüttner, "Determination of hydrogen input in welded joints of press-hardened 22MnB5 steel," *Weding in the world*, 04 05 2014.
- [86] Kobelco, The Kobelco Arc: Our promise to create the future, Kobe: Kobelco Welding Today Editorial Staff, 2003.
- [87] W. i. piping, "Welding Defect Lamellar Tearing," [Online]. Available: <https://whatispiping.com/welding-defects-types-of-welding-defects/welding-defect-lamellar-tearing>. [Acedido em 2020].
- [88] ISO 17577:2016 - Ultrasonic testing of steel flat product of thickness equal or greater than 6 mm, Geneva: International Organization for Standardization, 2016.
- [89] EN 10164:2018 - Steel products with improved deformation properties perpendicular to the surface of the product. Technical delivery conditions, Brussels: European Committee for Standardization, 2018.
- [90] ISO/TR 15608:2017 - Guidelines for a metallic materials grouping system, Brussels: European Committee for Standardization, 2017.
- [91] EN ISO 6947:2019 - Welding and allied processes. Welding positions, Brussels: European Committee for Standardization, 2019.
- [92] EN 12953-5:2018 - Shell Boilers. Part 5: Inspection during construction, documentation and marking of pressure parts of the boiler, Brussels: European Committe for Standardization, 2018.

Anexo 3

(Levantamento de Necessidades de Qualificação)

		Referência das Soldaduras														
		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14	c15
Tipo de Junta		T-BW	BW	T-BW	T-BW	BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	Ângulo em J	Ângulo em 1/2Y	Ângulo em 1/2Y	Ângulo em 1/2Y	Ângulo em 1/2Y
Processo(s)		138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	111	111	111	111	111
Mat. Base (Qualidade e Grupo)	n	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)
	n+1	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)
Forma do Produto	n	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	n+1	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	T	T	T	T	T
Espessuras	n	14	14	16	18	18	14	18	14	14	14	16	20	20	16	20
	n+1	20	16	20	20	18	16	16	16	14	20	28	28	3,2	3,2	3,2
Diâmetro		2172	2200	2172	928	928	1522	928	1522	488	488	28	28	60,3	60,3	60,3
Grupo de Mat. Adição	n	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
	n+1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
Posição		PA, PB	PA	PA, PB	PA, PB	PA	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB, PH	PA, PB, PH	PA, PB, PH	PA, PB, PH	PA, PB, PH
Detalhes		bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	ss nb	-	-	-	-	-

		n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10	n11	n12	n13	n14	n15	n16.1	n16.2	n16.3
Tipo de Junta		T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	T-BW	FW	FW
Processo(s)		141+111	141+111	141+111	111	141+111	141+111	141+111	141+111	141+111	141+111	141+111	141+111	141+111	141+111	111	141+111	141+111	141+111
Mat. Base (Qualidade e Grupo)	n	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)
	n+1	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P265GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P265GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)
Forma do Produto	n	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	n+1	T	T	T	P	P	T	T	T	T	T	T	T	T	T	P	T	T	P
Espessuras	n	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	n+1	5,6	5,6	7,1	25	8	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	25	7,1	7,1	14
Diâmetro		48,3	48,3	114,3	370	139,7	48,3	48,3	48,3	48,3	60,3	60,3	48,3	48,3	60,3	270	48,3	48,3	140
Grupo de Mat. Adição	n	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
	n+1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
Posição		PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB	PA, PB, PH	PA, PB, PH	PA, PB	PA, PB	PA, PB
Detalhes		bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs	bs

		f1	f2	f3	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14	f16
Tipo de Junta		FW	FW	FW	FW	FW	FW	FW	FW	FW	FW	FW	FW	FW	FW
Processo(s)															
Mat. Base (Qualidade e Grupo)	n	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)
	n+1	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)	P250GH (1.1)
Forma do Produto	n	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	n+1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Espessuras	n	5,6	5,6	7,1	8	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	7,1
	n+1	18	18	22	22	16	16	16	16	20	20	18	16	20	18
Diâmetro		48,3	48,3	114,3	139,7	48,3	48,3	18,3	48,3	60,3	60,3	48,3	48,3	60,3	48,3
Grupo de Mat. Adição	n	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
	n+1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
Posição		PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB
Detalhes		sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml	sl/ml

		a3	a12.1	a12.2	a12.3	a12.4	a12.5	a12.6	a12.7	a12.8	a16.1	a16.2	u1	u2	u3
Tipo de Junta		BW	BW	BW	BW	BW	BW	BW	BW	BW	BW	BW	FW	FW	FW
Processo(s)															
Mat. Base (Qualidade e Grupo)	n	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)	P265GH (1.1)
	n+1	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P235GH (1.1)	P265GH (1.1)	P235GH (1.1)	P265GH (1.1)
Forma do Produto	n	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	P	P	P
	n+1	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	P	T	P
Espessuras	n	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	7,1	7,1	16	10	16
	n+1	4	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	7,1	7,1	10	7,1	4
Diâmetro		114,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	48,3	48,3	-	-	-
Grupo de Mat. Adição	n	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
	n+1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1	FM1
Posição		PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA
Detalhes		ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb	ss nb

Anexo 4

(Especificações de Procedimentos de Soldadura Preliminares)

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS Nº.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	pEPS Nº. 02	15609-1	A definir	Qualificação de acordo com: EN ISO15614-1			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
EN 10025-2	P: S355J2+N	1.2	20	-			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Topo a Topo - BW		ID SOLDADURA(S)	-			
Ângulo de Chanfro	60° ± 2	Talão (mm)	2 ± 1	Folga (mm)	2 ± 1	Garganta (mm)	-
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ		OBSERVAÇÕES			
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos		-			
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO		PROCEDIMENTO			
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	-		N/A			
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	2, 3, 6, 7 (Enchimento)	4, 5, 8, 9 (Passes de Vista)				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	138 - S	138 - S	138 - S				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5	EN ISO 17632-A: T 42 2 M M 2 H5				
MARCA COMERCIAL	ESAB OK 14.13	ESAB OK 14.13	ESAB OK 14.13				
DIÂMETRO	1,2	1,2	1,2				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	ISO 14175-M20	ISO 14175-M20	ISO 14175-M20				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	16 - 18	16 - 18	16 - 18				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-	-				
POSIÇÃO	PF	PF	PF				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A empurrar/Ascendente	A empurrar/Ascendente	A empurrar/Ascendente				
INTENSIDADE (A)	106 - 129	124 - 151	106 - 130				
TENSÃO (V)	15,0 - 18,3	15,8 - 19,3	15,3 - 18,7				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	94 - 114	72 - 88	85,5 - 104,5				
ENTREGA TÉRMICA / (kj/mm)	0,82 - 1,00	1,30 - 1,59	0,91 - 1,11				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EP	DC EP	DC EP				
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	6,0 - 7,0	6,5 - 8,5	6,0 - 7,0				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	15,9	15,9	15,9				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODADO (mm)	Máx. 25	Máx. 25	Máx. 25				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·Ø _{no}	Corrido / <1,5·Ø _{no}	Corrido / <1,5·Ø _{no}				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS N°.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	pEPS N°. 03	15609-1	A definir	Qualificação de acordo com: EN ISO15614-1			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
EN 10028-2 EN 10216-2	P: P265GH T: P265GH	1.1 1.1	12 7,62	88,9			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Picagem		ID SOLDADURA(S)	-			
Ângulo de Chanfro	22° ± 2	Talão (mm)	0	Folga (mm)	2 ± 1	Garganta (mm)	---
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ	OBSERVAÇÕES				
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos	-				
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO	PROCEDIMENTO				
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	Lápis Térmico	N/A				
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 - 8 (Penetração)	8-15 / 21-37 (Enchimento)	16-20 / 38-43 (Passes de Vista)				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	141	111	111				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 636-A: W 46 6 4Si1	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5				
MARCA COMERCIAL	OK TIGROD 12.64	ESAB OK 48.00	ESAB OK 48.00				
DIÂMETRO	2,4	3,2	3,2				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	ISO 14175-11	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	12 - 14	-	-				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-	-				
POSIÇÃO	PH	PH	PH				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A empurrar/Ascendente	A puxar/Ascendente	A puxar/Ascendente				
INTENSIDADE (A)	165 - 200	81 - 99	85,5 - 104,5				
TENSÃO (V)	10,9 - 13,3	19,8 - 24,2	20,97 - 25,63				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	55,8 - 68,2	148,5 - 181,5	144 - 176				
ENTREGA TÉRMICA / (kj/mm)	1,16 - 1,41	0,52 - 0,63	0,60 - 0,73				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EN	DC EP	DC EP				
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	-	-	-				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	11	-	-				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-	-	-				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·ØVareta	Balanceado/ <3·ØEléetrodo	Corrido / <1,5·ØEléetrodo				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

IDENTIFICAÇÃO								
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/EPS Nº.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES				
Caldeira de Vapor	pEPS Nº. 04	15609-1	A definir	Qualificação de acordo com: EN ISO15614-1				
METAL BASE								
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)				
EN 10028-2 EN 10025-2	P: P265GH T: S235JR	1.1 1.1	30 32	32				
DETALHES DE JUNTA								
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA					
TIPO	Ângulo: FW		ID SOLDADURA(S)	-				
Ângulo de Chanfro	45° ± 1	Talão (mm)	-	Folga (mm)	0,5 ± 0,5	Garganta (mm)	> 3	
PREPARAÇÃO DE JUNTA								
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ	OBSERVAÇÕES					
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos	-					
PRÉ-AQUECIMENTO								
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO	PROCEDIMENTO					
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	-	N/A					
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO								
PASSES	1 (Penetração)	2 (Passe de Vista)						
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	111	111						
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5						
MARCA COMERCIAL	ESAB OK 48.00	ESAB OK 48.00						
DIÂMETRO	3,2	3,2						
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	-	-						
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	-	-						
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-						
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-						
POSIÇÃO	PH	PH						
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A puxar/Ascendente	A puxar/Ascendente						
INTENSIDADE (A)	83,7 – 102,3	82,9 – 101,2						
TENSÃO (V)	18,9 – 23,1	19,35 – 23,65						
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	135 – 165	135 – 135						
ENTREGA TÉRMICA / (kj/mm)	0,56 – 0,69	0,57 – 0,69						
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EP	DC EP						
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	-	-						
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	-	-						
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-	-						
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·ØEléetrodo	Balanceado / <3·ØEléetrodo						
TRATAMENTO TÉRMICO								
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)			
-	-	-	-	-	-			

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS N°.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	pEPS N°. 05	15609-1	A definir	Qualificação de acordo com: EN ISO15614-1			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
EN 10028-2 EN 10216-2	P: P265GH T: P235GH	1.1 1.1	10 5	26,9			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Ângulo: FW		ID SOLDADURA(S)	-			
Ângulo de Chanfro	45° ± 1	Talão (mm)	-	Folga (mm)	1,0 ± 0,5	Garganta (mm)	> 5
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ	OBSERVAÇÕES				
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos	-				
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO	PROCEDIMENTO				
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	-	N/A				
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)		2 (Passe de Vista)				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	111		111				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5		EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5				
MARCA COMERCIAL	ESAB OK 48.00		ESAB OK 48.00				
DIÂMETRO	3,2		3,2				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	-		-				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	-		-				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-		-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-		-				
POSIÇÃO	PH		PH				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A puxar/Ascendente		A puxar/Ascendente				
INTENSIDADE (A)	70,2 – 85,8		70,2 – 85,8				
TENSÃO (V)	18,8 – 22,9		19,2 – 23,4				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	75,5 – 93,5		88,2 – 107,8				
ENTREGA TÉRMICA / (kj/mm)	0,83 – 1,01		0,73 – 0,90				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EP		DC EP				
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	-		-				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	-		-				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-		-				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·ØEléetrodo		Balanceado / <3·ØEléetrodo				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS N°.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	pEPS N°. 06	15609-1	A definir	Qualificação de acordo com: EN ISO15614-1			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
EN 10216-2	T: P235GH	1.1	8,0	80,5			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Topo a topo: BW		ID SOLDADURA(S)	-			
Ângulo de Chanfro	60° ± 2	Talão (mm)	2,0 ± 1,0	Folga (mm)	2,0 ± 1,0	Garganta (mm)	-
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ		OBSERVAÇÕES			
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos		-			
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO		PROCEDIMENTO			
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	-		N/A			
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	2-4 (Enchimento)	5-7 (Passes de Vista)				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	141	141	141				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 636-A: W 46 6 4Si1	EN ISO 636-A: W 46 6 4Si1	EN ISO 636-A: W 46 6 4Si1				
MARCA COMERCIAL	OK TIGROD 12.64	OK TIGROD 12.64	OK TIGROD 12.64				
DIÂMETRO	2,4	2,4	2,4				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	ISO 14175-I1	ISO 14175-I1	ISO 14175-I1				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	12 – 14	12 – 14	12 – 14				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-	-				
POSIÇÃO	H-L045	H-L045	H-L045				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A empurrar/Ascendente	A empurrar/Ascendente	A empurrar/Ascendente				
INTENSIDADE (A)	88,2 – 107,8	100,8 – 123,2	100,8 – 123,2				
TENSÃO (V)	9 – 11	9 – 11	9 – 11				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	63 – 77	36 – 44	36 – 44				
ENTREGA TÉRMICA / (kj/mm)	0,45 – 0,55	0,91 – 1,11	0,91 – 1,11				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EN	DC EN	DC EN				
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	-	-	-				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	11	11	11				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-	-	-				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·Ø _{Vareta}	Corrido / <1,5·Ø _{Vareta}	Corrido / <1,5·Ø _{Vareta}				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS N°.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	pEPS N°. 07	15609-1	A definir	Qualificação de acordo com: EN ISO15614-1			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
EN 10025-2	P:S355J2+N	1.2	10	-			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Topo a topo: BW		ID SOLDADURA(S)	-			
Ângulo de Chanfro	45° ± 1	Talão (mm)	-	Folga (mm)	1,0 ± 0,5	Garganta (mm)	> 5
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ		OBSERVAÇÕES			
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos		-			
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO		PROCEDIMENTO			
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	-		N/A			
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	2-3 (Enchimento)	4-6 (Passes de Vista)				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	111	111	111				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5				
MARCA COMERCIAL	ESAB OK 48.00	ESAB OK 48.00	ESAB OK 48.00				
DIÂMETRO	3,2	3,2	3,2				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	-	-	-				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-	-				
POSIÇÃO	PC	PC	PC				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A puxar/Horizontal	A puxar/Horizontal	A puxar/Horizontal				
INTENSIDADE (A)	72 – 88	88,9 – 100,1	85,5 – 104,5				
TENSÃO (V)	21,6 – 26,4	24,3 – 29,7	26,1 – 31,9				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	67,5 – 82,5	108 – 132	144,9 – 177,1				
ENTREGA TÉRMICA (kJ/mm)	1,11 – 1,35	0,88 – 1,08	0,74 – 0,90				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EP	DC EP	DC EP				
VELOCIDADE DE FIO (m/min)	-	-	-				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	-	-	-				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-	-	-				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·Ø _{Eléetrodo}	Balanceado / <3·Ø _{Eléetrodo}	Corrido / <1,5·Ø _{Eléetrodo}				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS N°.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	pEPS N°. 08	15609-1	A definir	Qualificação de acordo com: EN ISO15614-1			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
EN 10025-2	P:S355J2+N	1.2	10	-			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Topo a topo: BW		ID SOLDADURA(S)	-			
Ângulo de Chanfro	45° ± 1	Talão (mm)	-	Folga (mm)	1,0 ± 0,5	Garganta (mm)	> 5
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ	OBSERVAÇÕES				
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos	-				
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO	PROCEDIMENTO				
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	-	N/A				
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	2 (Enchimento)	3				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	111	111	111				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5				
MARCA COMERCIAL	ESAB OK 48.00	ESAB OK 48.00	ESAB OK 48.00				
DIÂMETRO	3,2	3,2	3,2				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	-	-	-				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-	-				
POSIÇÃO	PF	PF	PF				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A puxar/Ascendente	A puxar/Ascendente	A puxar/Ascendente				
INTENSIDADE (A)	67,5 – 82,5	72 – 88	72,9 – 89,1				
TENSÃO (V)	20,7 – 25,3	21,6 – 36,4	21,6 – 26,4				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	66,6 – 81,4	59,4 – 72,6	59,4 – 72,6				
ENTREGA TÉRMICA (kJ/mm)	1,01 – 1,23	1,26 – 1,54	1,27 – 1,56				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EP	DC EP	DC EP				
VELOCIDADE DE FIO (m/min)	-	-	-				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	-	-	-				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-	-	-				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·Ø _{Eléctrodo}	Balanceado / <3·Ø _{Eléctrodo}	Corrido / <1,5·Ø _{Eléctrodo}				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

Anexo 5

(Especificações de Procedimentos de Soldadura Qualificadas)

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS Nº.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	EPS Nº. 03	15609-1	0038				
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
-	P: $\sigma_{ced} \leq 265$ MPa T: $\sigma_{ced} \leq 265$ MPa	1.1-1.1	eP: 3,0 – 24,0 eT: 3,0 – 15,4	$\geq 44,5$			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Picagem		ID SOLDADURA(S)	n1,n2,n3,n5,n6,n7,n8,n9,n10 n11,n12,n13,n14,n16.1,n16.2,n16.3			
			<p>Máx. Espessura Depositada: 141: 10mm 111: 14mm</p>				
Ângulo de Chanfro	Valor Projeto ± 2	Talão (mm)	0	Folga (mm)	2 \pm 1	Garganta (mm)	---
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ	OBSERVAÇÕES				
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos	-				
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO	PROCEDIMENTO				
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	Lápis Térmico	N/A				
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	n (Enchimento)	n+1 (Passes de Vista)				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	141	111	111				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 636-A: W 46 6 4Si1	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5				
MARCA COMERCIAL	OK TIGROD 12.64	ESAB OK 48.00	ESAB OK 48.00				
DIÂMETRO	2,4	3,2	3,2				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	ISO 14175-11	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	12 – 14	-	-				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-	-				
POSIÇÃO	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A empurrar/Ascendente	A puxar/Ascendente	A puxar/Ascendente				
INTENSIDADE (A)	165 – 200	81 -99	85,5 – 104,5				
TENSÃO (V)	10,9 – 13,3	19,8 – 24,2	20,97 – 25,63				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	55,8 – 68,2	148,5 – 181,5	144 – 176				
ENTREGA TÉRMICA / (kj/mm)	1,16 – 1,41	0,52 – 0,63	0,60 – 0,73				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EN	DC EP	DC EP				
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	-	-	-				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	11	-	-				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-	-	-				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / $< 1,5 \cdot \varnothing_{\text{Vareta}}$	Balanceado/ $< 3 \cdot \varnothing_{\text{Eléetrodo}}$	Corrido / $< 1,5 \cdot \varnothing_{\text{Eléetrodo}}$				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS N ^o .	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	EPS N ^o . 04	15609-1	0066	-			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
-	P: $\sigma_{ced} \leq 265$ MPa T: $\sigma_{ced} \leq 275$ MPa	1.1 - 1.1	P $\geq 5,0$ T $\geq 8,0$	$\geq 16,0$			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Ângulo: FW		ID SOLDADURA(S)	c11, c12			
Ângulo de Chanfro	45° ± 1	Talão (mm)	-	Folga (mm)	0,5 ± 0,5	Garganta (mm)	> 3
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSOS	DESCARNAGEM DA RAIZ	OBSERVAÇÕES				
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos	-				
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO	PROCEDIMENTO				
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	-	N/A				
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	n (Passe de Vista)					
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	111	111					
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5					
MARCA COMERCIAL	ESAB OK 48.00	ESAB OK 48.00					
DIÂMETRO	3,2	3,2					
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	-	-					
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	-	-					
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-					
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-					
POSIÇÃO	PH	PH					
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A puxar/Ascendente	A puxar/Ascendente					
INTENSIDADE (A)	83,7 – 102,3	82,9 – 101,2					
TENSÃO (V)	18,9 – 23,1	19,35 – 23,65					
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	135 – 165	135 – 135					
ENTREGA TÉRMICA / (kj/mm)	0,56 – 0,69	0,57 – 0,69					
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EP	DC EP					
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	-	-					
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	-	-					
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-	-					
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·Ø _{Eléctrodo}	Balanceado / <3·Ø _{Eléctrodo}					
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS N°.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	EPS N° 05	15609-1	0147				
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
-	P: $\sigma_{ced} \leq 265$ MPa T: $\sigma_{ced} \leq 235$ MPa	1.1 - 1.1	P $\geq 10,0$ 2,5 $\leq T \leq 10,0$	26,9			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Ângulo: FW		ID SOLDADURA(S)	c13, c14, c15			
Ângulo de Chanfro	45° ± 1	Talão (mm)	-	Folga (mm)	1,0 ± 0,5	Garganta (mm)	> 5
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ	OBSERVAÇÕES				
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos	-				
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO	PROCEDIMENTO				
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	-	N/A				
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	n (Passe de Vista)					
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	111	111					
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5					
MARCA COMERCIAL	ESAB OK 48.00	ESAB OK 48.00					
DIÂMETRO	3,2	3,2					
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	-	-					
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	-	-					
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-					
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-					
POSIÇÃO	PH	PH					
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A puxar/Ascendente	A puxar/Ascendente					
INTENSIDADE (A)	70,2 – 85,8	70,2 – 85,8					
TENSÃO (V)	18,8 – 22,9	19,2 – 23,4					
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	75,5 – 93,5	88,2 – 107,8					
ENTREGA TÉRMICA / (kJ/mm)	0,83 – 1,01	0,73 – 0,90					
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EP	DC EP					
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	-	-					
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	-	-					
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-	-					
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / <1,5·Ø _{Eléctrodo}	Balanceado / <3·Ø _{Eléctrodo}					
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

IDENTIFICAÇÃO							
EQUIPAMENTO/OBRA	pEPS/ EPS N°.	NORMA	RQPS	OBSERVAÇÕES			
Caldeira de Vapor	EPS N° 06	15609-1	0078	-			
METAL BASE							
NORMA(S)	DESIGNAÇÃO	GRUPO(S) DE MATERIAL	ESPESSURA(S)	DIÂMETRO(S)			
-	P: $\sigma_{ced} \leq 235$ MPa T: $\sigma_{ced} \leq 235$ MPa	1.1 - 1.1	3,0 - 16,0	$\geq 40,25$			
DETALHES DE JUNTA							
ESQUEMA DE JUNTA			SEQUÊNCIA DE SOLDADURA				
TIPO	Topo a topo: BW		ID SOLDADURA(S)	-			
Ângulo de Chanfro	$60^\circ \pm 2$	Talão (mm)	$2,0 \pm 1,0$	Folga (mm)	$2,0 \pm 1,0$	Garganta (mm)	-
PREPARAÇÃO DE JUNTA							
MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA JUNTA	LIMPEZA ENTRE PASSES	DESCARNAGEM DA RAIZ		OBSERVAÇÕES			
Mecânico/Rebarbagem	Mecânico/Rebarbagem	Meios mecânicos		-			
PRÉ-AQUECIMENTO							
TEMP. DE PRÉ-AQUECIMENTO (°C)	MÉTODO AQUECIMENTO	MÉTODO DE CONTROLO		PROCEDIMENTO			
N/A se, T > 20 °C	CHAMA (Oxi-Propano)	-		N/A			
CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO							
PASSES	1 (Penetração)	n (Enchimento)	n+1 (Passes de Vista)				
PROCESSO / MODO DE TRANSFERENCIA	141	141	141				
MATERIAL DE ADIÇÃO	EN ISO 636-A: W 46 6 4Si1	EN ISO 636-A: W 46 6 4Si1	EN ISO 636-A: W 46 6 4Si1				
MARCA COMERCIAL	OK TIGROD 12.64	OK TIGROD 12.64	OK TIGROD 12.64				
DIÂMETRO	2,4	2,4	2,4				
FLUXO OU GÁS DE PROTEÇÃO	ISO 14175-I1	ISO 14175-I1	ISO 14175-I1				
DÉBITO DE GÁS DE PROTEÇÃO (L/min)	12 - 14	12 - 14	12 - 14				
FLUXO OU GÁS DE PURGA	-	-	-				
DÉBITO DE GÁS DE PURGA (L/min)	-	-	-				
POSIÇÃO	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045	Todas, exceto, PG, PJ e H-L045				
TÉCNICA/PROGRESSÃO	A empurrar/Ascendente	A empurrar/Ascendente	A empurrar/Ascendente				
INTENSIDADE (A)	88,2 - 107,8	100,8 - 123,2	100,8 - 123,2				
TENSÃO (V)	9 - 11	9 - 11	9 - 11				
VELOCIDADE DE SOLDADURA (mm/min)	63 - 77	36 - 44	36 - 44				
ENTREGA TÉRMICA / (kj/mm)	0,45 - 0,55	0,91 - 1,11	0,91 - 1,11				
TIPO DE CORRENTE / POLARIDADE	DC EN	DC EN	DC EN				
VELOCIDADE DE FIO / (m/min)	-	-	-				
DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	11	11	11				
EXTENSÃO LIVRE ELÉTRODO (mm)	-	-	-				
TIPO DE CORDÃO/OSCILAÇÃO (mm)	Corrido / $<1,5 \cdot \phi_{Vareta}$	Corrido / $<1,5 \cdot \phi_{Vareta}$	Corrido / $<1,5 \cdot \phi_{Vareta}$				
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO	PROCESSO/MEIO	VEL AQUECIMENTO (°C/h)	TEMP. DE PATAMAR (°C)	TEMPO DE PATAMAR (h)	VEL. ARREFECIMENTO (°C/h)		
-	-	-	-	-	-		

