



Augusto Miguel da Costa Dinis

APLICAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS, NO ÂMBITO DA NORMA NP EN 1090

FCTUC - 2017



**FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Institute for Sustainability and  
Innovation in Structural Engineering

# APLICAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS, NO ÂMBITO DA NORMA NP EN 1090

Augusto Miguel da Costa Dinis

Orientadores:

Professor Doutor Rui António Duarte Simões  
Professor Doutor Altino de Jesus Roque Loureiro

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil  
na Especialidade de Construção Metálica e Mista

**SUSCOS**  
SUSTAINABLE STEEL CONSTRUCTION

Coimbra, Setembro, 2017



**FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



# APLICAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS, NO ÂMBITO DA NORMA NP EN 1090

Augusto Miguel da Costa Dinis

Orientadores: Professor Doutor Rui António Duarte Simões

Professor Doutor Altino de Jesus Roque Loureiro

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na  
Especialidade de Construção Metálica e Mista



Coimbra, Setembro, 2017

## **AGRADECIMENTOS**

É com muita satisfação que expresso aqui o mais profundo agradecimento a todos aqueles que tornaram a realização deste trabalho possível.

Gostaria antes de mais de agradecer ao prof. Rui António Duarte Simões e ao prof. Altino de Jesus Roque Loureiro, orientadores desta tese, pelo apoio e disponibilidade demonstrada em todas as fases que levaram à concretização deste trabalho; é grande a admiração que tenho pelos seus trabalhos e um privilégio enorme ter aprendido com eles.

Um agradecimento à administração da empresa “Fametal S.A.” pela oportunidade de integração no departamento de qualidade para auxiliar na realização deste trabalho, em especial ao Engenheiro Hélder Frade pelo apoio e pela amizade de longa data; não esquecendo o apoio dado pelos meus colegas de trabalho, que me acompanharam nos últimos anos e que me apoiaram sempre com muita energia positiva.

Aos meus pais e ao meu irmão, o meu muito obrigado pela força e pela motivação sempre presente.

Por último, um agradecimento um carinho muito especial pela minha esposa, Ana Rita, e pelas minhas duas filhas, Maria Miguel e Laura Miguel, pelo apoio incondicional e pela compreensão em todas as alturas em que não pude estar “mais” presente, por motivos de estudo ou trabalho.

## RESUMO

A norma EN 1090 -2 – Execução de estruturas metálicas – “Requisitos técnicos para as estruturas de aço” é a base de trabalho essencial no mundo da construção em aço, fornecendo as diretrizes detalhadas que devem ser cumpridas, por forma a salvaguardar todas as regras da boa execução. A norma EN 1090 constitui o documento base para certificação das empresas do sector metalomecânico, com vista à marcação CE dos produtos a introduzir no mercado da construção.

A segurança global de uma estrutura metálica, e a sua qualidade, depende do cumprimento de um conjunto de regras e procedimentos, desde a fase de conceção e projeto até à conclusão da obra, incluindo as fases de fabrico, execução e montagem. Tendo presente que a EN 1090-2 inclui todos os procedimentos aplicáveis a todas as fases da construção, neste trabalho pretende-se verificar a aplicação da norma a casos práticos, envolvendo a maioria das fases do processo de execução de uma estrutura metálica. Este trabalho foi desenvolvido em colaboração com uma empresa do sector da construção metálica.

Palavras-Chave: EN-1090; Produção; Processos de fabrico; Procedimentos; Níveis de qualidade; Defeitos.

## **ABSTRACT**

The EN 1090 – 2 norm for the Execution of steel structures – "Technical requirements for steel structures" is the essential work basis of the steel construction world, providing the detailed guidelines one should meet in order to safeguard all the proper execution rules. The EN 1090 norm represents the basis document for the steelwork companies certification, aiming at CE marking of the products to be brought in to the construction market.

The global safety of the metallic structure and its quality relies on the fulfillment of a set of rules and procedures from the conception and design phase until the work conclusion, including the manufacture, execution and assembly phases. Bearing in mind that the EN 1090-2 includes all the procedures relevant to all the construction phases, in this work the aim is to apply the standard to practical cases, concerning the majority of the procedure phases of execution of a metallic structure. This work was developed in cooperation with a steelwork company.

Keywords: EN-1090; Production; Manufacturing processes; Procedures; Quality levels; Defects.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. Enquadramento .....	13
1.2. A norma EN 1090-2, objetivos e conteúdo .....	15
1.3 Objetivo da tese.....	17
1.4 Organização da tese.....	17
2. PRODUTOS CONSTITUINTES.....	19
2.1 Produtos e normas relevantes .....	19
2.2 Procedimentos de controlo de qualidade dos produtos .....	19
2.2.1 Procedimentos gerais.....	19
2.2.2 Certificados EN 10204 e normas de produto .....	20
2.2.3 Identificação e rastreabilidade.....	26
2.2.4. Certificados EN 10034 e medições geométricas .....	34
2.2.5 Estados de superfície.....	39
2.2.6 Graus de preparação .....	44
2.2.7 Tratamento de superfície .....	52
3. MANUSEAMENTO E ARMAZENAMENTO.....	56
3.1. Produtos Longos.....	56
3.2. Consumíveis de soldadura.....	60
4. CORTE.....	64
4.1. Processos .....	64

---

4.2. Corte a frio /Cisalhamento .....	66
4.3. Corte térmico.....	67
4.4. Dureza das superfícies de bordo livre .....	74
5. FURAÇÃO.....	77
5.1. Processos de furação .....	77
5.2. Tolerâncias no diâmetro dos furos .....	80
5.3. Requisitos na execução da furação.....	82
5.3.1 Capacidade dos processos .....	82
5.3.2 Espessura nominal dos componentes .....	83
5.3.3 Cortes em cantos reentrantes.....	84
5.3.4 Outros requisitos .....	87
6. SOLDADURA .....	88
6.1. Introdução .....	88
6.2. Plano de soldadura .....	88
6.3. Processos de soldadura mais utilizados.....	91
6.4. QPS – Qualificação dos procedimentos de soldadura.....	94
6.5. Certificados qualificação de Soldadores / Operadores de soldadura.....	100
6.6. Controlo e rastreabilidade das juntas soldadas.....	102
6.7. Coordenador de soldadura.....	104
6.8. Montagem para soldadura .....	107
6.8.1 Dispositivos auxiliares (Gabarits) .....	109
6.8.2 Pingagem.....	110
6.8.3 Elementos de fixação provisórios.....	111
6.8.4 Controlo das deformações em soldadura.....	112
6.8.5 Soldaduras de topo .....	114
6.8.6 Tolerâncias de fabricação.....	115
6.9. Imperfeições e defeitos mais comuns nas juntas soldadas .....	117
6.9.1 Salpicos .....	117
6.9.2 Desbordo .....	119
6.9.3 Cordão assimétrico.....	120
6.9.4 Bordos queimados .....	122
6.9.5 Falta de fusão/Colagens .....	124
6.9.6 Cratera de fim de cordão .....	126

---

6.9.7 Poros.....	127
6.9.8 Fissuração a quente .....	128
6.10. Ensaios não destrutivos – END’S .....	130
6.10.1 Inspeção visual/ Níveis de qualidade em soldadura.....	130
6.10.2 Ensaios não destrutivos suplementares .....	132
7. CONCLUSÕES.....	134
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	141



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Logotipo CE.....	14
Figura 1.2 – Exemplo e certificado de conformidade de produção em fábrica.....	15
Figura 2.1 - Exemplo de certificado de parafusos com tratamento superficial zincado onde se verifica a indicação da norma ISO 4042 .....	23
Figura 2.2 - Exemplo de um certificado de parafusos com tratamento superficial galvanizado onde se verifica a indicação da norma ISO 1461; .....	24
Figura 2.3 - Exemplo de modelação BIM .....	26
Figura 2.4 - Exemplo de preparação com recurso a um <i>software</i> “BIM” .....	27
Figura 2.5 - Exemplo de preparação de forma mais “manual” .....	27
Figura 2.6 - Identificação das peças constituintes através de marcador próprio .....	28
Figura 2.7 - Marcação de componentes através de punção .....	28
Figura 2.8 - Marcação de componentes através de “micro-percussão” .....	28
Figura 2.9 - Marcação de componentes em material galvanizado por etiquetagem.....	28
Figura 2.10 - Marcação de componentes em material galvanizado com marcador de tinta permanente .....	28
Figura 2.11 - Exemplo de identificação da matéria-prima .....	30
Figura 2.12 - Exemplo de desenho de corte (peça constituinte) com a colocação manual do código de entrada.....	30
Figura 2.13 - Exemplo da identificação nas peças “30012” após fabricação.....	30
Figura 2.14 - Identificação da peça “30012” no desenho de conjunto “306” .....	31
Figura 2.15 - Procedimento com sequência de corte e de identificação do material base .....	32
Figura 2.16 – Exemplo de diferenciação do material através de cores .....	32
Figura 2.17 - Certificado do material com referência manual do nº de obra .....	33
Figura 2.18 - Imagem retirada da norma EN10034.....	34
Figura 2.19 Excertos de certificados de qualidade com referência à norma EN10034.....	35
Figura 2.20 - Imagem retirada da norma EN10034.....	36
Figura 2.21 – Perfis com curvatura inicial acentuada .....	37
Figura 2.22- Prensa de rolos a desempenar na direção “q <sub>yy</sub> ” alguns perfis metálicos tipo IPE .....	38
Figura 2.23 – Prensa de rolos a desempenar uma peça após ser montada em fábrica e devidamente soldada.....	38
Figura 2.24 - Exemplo de publicidade em catálogo de um fabricante de aço onde se descreve o estado de superfície para perfis longos.....	39
Figura 2.25 - Exemplo de um fluxograma para controlo do “Estado de superfície” .....	39
Figura 2.26 - Rebarbagem e retificação de superfície com defeitos .....	40
Figura 2.27 - Aspeto final do banzo da viga após retificação .....	40
Figura 2.28 – Exemplo de “Escamas” .....	41
Figura 2.29 – Exemplo de “covas e crateras” .....	42
Figura 2.30 - Outras discontinuidades da laminagem (costuras, riscos, danos e marcas transversais provocadas pela passagem dos rolos, etc...).....	43
Figura 2.31– Ilustrações retiradas da BS EN ISO 8501-3.....	44

Figura 2.32 - Aspeto de peça após decapagem, momento ideal para verificar as imperfeições do material base e cordões de soldadura .....	45
Figura 2.33 - Tabela “imperfeições e graus de preparação” adaptada da ISO 8501-3.....	47
Figura 2.34 – Situação pouco usual: Simbologia de soldadura indicativa de chanfro em V e com nivelamento do cordão .....	48
Figura 2.35 – Situação usual: Simbologia de soldadura indicativa de chanfro em V e com o acabamento convexo do cordão .....	48
Figura 2.36 – Pormenor não adequado.....	49
Figura 2.37 – Pormenor adequado .....	49
Figura 2.38 - Enchimento para reparação de covas e crateras superficiais .....	50
Figura 2.39- Exemplo de “escamas” levantadas .....	51
Figura 2.40 - Cálculo do período de vida útil da proteção anticorrosiva .....	52
Figura 2.41 – Classificação de atmosferas segundo a BS EN ISO 9223 (CEN, 2012).....	52
Figura 2.42 - Decapagem automática de granalha de aço .....	54
Figura 2.43 - Cabine de pintura com sistema de secagem .....	54
Figura 2.44 – Comparador de rugosidade .....	54
Figura 2.45 - Medidor de espessura húmida .....	55
Figura 2.46 - Medidor de espessura seca .....	55
Figura 2.47 – Registos de controlo da qualidade da decapagem.....	55
Figura 2.48 - Controlo da qualidade da pintura.....	55
Figura 3.1 - Excerto retirado da tabela 8 da norma NP EN1090-2 .....	56
Figura 3.2 - Correto armazenamento das bobines de chapa em fabrica por dimensão e por classe.....	57
Figura 3.3 - Correto armazenamento e separação dos perfis metálicos em fábrica por tipo de secção	57
Figura 3.4 - Correta manipulação das bandas de chapa fina em fábrica antes da quinagem com o auxílio de vigas de equilíbrio .....	57
Figura 3.5 - Correta Manipulação de painéis sandwich de revestimento em estaleiro com o auxílio de vigas de equilíbrio .....	57
Figura 3.6 - Correto embalamento e proteção dos enformados a frio após quinagem com películas, filmes de proteção e rolos de papel .....	58
Figura 3.7 - Correto armazenamento e separação de perfis enformados a frio com auxílio de “abraçadeiras” metálicas .....	58
Figura 3.8 – Correto armazenamento em estaleiro.....	58
Figura 3.9 – Correto armazenamento em estaleiro.....	58
Figura 3.10 - Acumulação de águas no interior da componente não evitada em estaleiro. ....	59
Figura 3.11 - Manipulação deficiente em estaleiro dos componentes metálicos e consequente perda localizada do tratamento superficial.....	59
Figura 3.12 - Manipulação deficiente de painel com elevado comprimento (utilização indevida da viga de equilíbrio).....	59
Figura 3.13 - Acondicionamento deficiente durante o transporte. ....	59
Figura 3.14 - Marcas transversais provocados pelos perfis de separação entre painéis.....	59
Figura 3.15 - Dano do tratamento de superfície por falta de barrotes de madeira com altura suficiente entre os componentes. ....	59
Figura 3.16 - Local próprio de armazenagem de consumíveis de soldadura .....	60
Figura 3.17 - Registo das condições ambientais dentro do “armazém central” .....	60

Figura 3.18 - Exemplo de um fluxograma para elétrodos básicos de um fornecedor.....	61
Figura 3.19 - Quadro 16 da EN1090-2.....	61
Figura 3.20 - Elétrodos de “ponta branca” com apenas uma secagem.....	62
Figura 3.21 - Elétrodos de “ponta vermelha” colocados em recipiente próprio prestes a ser retirados da zona de produção.....	62
Figura 3.22 - Estufa fixa de manutenção.....	63
Figura 3.23 - Estufa portátil de manutenção .....	63
Figura 4.1 - Máquina de cortar e furar automática.....	64
Figura 4.2 - Serra de fita.....	64
Figura 4.3 - Guilhotina .....	65
Figura 4.4 - Oxicorte automático .....	65
Figura 4.5 - Oxicorte manual .....	65
Figura 4.6 - Corte abrasivo com rebarbadora.....	65
Figura 4.7 - “Estereotomia do corte” (in manual ISQ).....	66
Figura 4.8 - Rebarbagem das peças constituintes após o corte .....	66
Figura 4.9 - Peça devidamente limpa e preparada para “encostar totalmente” na guia do equipamento de furação .....	67
Figura 4.10 - Representação simbólica das 4 amostras necessárias para verificação da capacidade do corte térmico.....	68
Figura 4.11 - Corte em canto (3) de espessura representativa.....	68
Figura 4.12 – Corte curvo (4) de espessura representativa .....	68
Figura 4.13 - Gráfico retirado da ISO EN 9013 onde se define a gama 4 para “u” .....	69
Figura 4.14 - Definição do parâmetro “u” previsto na ISO EN 9013 .....	69
Figura 4.15 - Figura retirada da ISO EN 9013 .....	70
Figura 4.16 - Gráfico retirado da norma ISO 9013 onde se define a gama 4 de tolerância para “rz5”. .....	70
Figura 4.17 - Exemplo de padrão de corte ilustrado (RELACRE, 2015).....	72
Figura 4.18 - Exemplo da peça mais fina (provete 1 – 6 mm) utilizada no ensaio .....	72
Figura 4.19 - Exemplo da peça mais espessa (provete 2- 60 mm) utilizada no ensaio .....	72
Figura 4.20 - Exemplo de padrão de corte ilustrado (ISQ, 2014) .....	73
Figura 4.21 - Exemplo da verificação da capacidade do processo de corte térmico.....	73
Figura 4.22 - Execução do ensaio Vickers .....	75
Figura 4.23 - Provetes 1 e 2.....	75
Figura 5.1 – Exemplo de ligações preferencialmente aparafusadas.....	77
Figura 5.2 - Máquina universal ”Darley / Geka” .....	78
Figura 5.3 - Engenho de furação Engenho de furação .....	78
Figura 5.4 - Corte e furação de elementos de chapa fina em banda.....	78
Figura 5.5 - Equipamento de corte e furação automático de perfis laminados .....	78
Figura 5.6 - Base magnética e berbequim .....	79
Figura 5.7 - Oxicorte simples /plasma .....	79
Figura 5.8- Matrizes de punçoamento.....	81
Figura 5.9- Distorções permitidas para furos executados por punçoamento e cortes com plasma [NP EN 1090-2].....	82
Figura 5.10 - Exemplo de punção danificado em serviço .....	84
Figura 5.11 - Ilustração do requisito ”espessura nominal dos componentes” .....	84

Figura 5.12 - Linha de forças sem e com arredondamento dos cantos dos elementos (ISQ, 2014).....	84
Figura 5.13 - Excerto da norma NP EN 1090-2.....	85
Figura 5.14 - Tratamento dos cantos reentrantes de vigas tipo IPE.....	85
Figura 5.15 - Correto tratamento de entalhe reentrante encontrado em edifício existente.....	85
Figura 5.16 - Desenho de corte com incorreto tratamento de cantos reentrantes.....	86
Figura 5.17 - Peça produzida com desenho de corte da figura 5.16.....	86
Figura 6.1 – Soldadura.....	88
Figura 6.2 – Excerto de plano de soldadura.....	90
Figura 6.3 - Equipamento para soldadura com o processo MIG/MAG.....	91
Figura 6.4 - Aspeto e morfologia do cordão obtido através do processo MIG/MAG.....	91
Figura 6.5 - Equipamento para soldadura com o processo SER.....	91
Figura 6.6 - Aspeto e morfologia do cordão obtido através do processo SER.....	91
Figura 6.7 - Equipamento para soldadura com o processo SAS.....	92
Figura 6.8 - Aspeto e morfologia do cordão obtido através do processo SAS.....	92
Figura 6.9 - Utilização de multímetro para confirmação dos valores do display de equipamento.....	93
Figura 6.10 - Exemplo de uma EPS preliminar (EPSp) elaborada internamente dentro da organização (Fametal, 2012).....	94
Figura 6.11 - Provete utilizado para teste de soldadura em posição PC.....	97
Figura 6.12 - Domínio da qualificação em função da espessura do material em soldaduras topo a topo.....	97
Figura 6.13 - Plano de ensaios a executar numa junta topo a topo com penetração total.....	97
Figura 6.14 - Exemplo da WPQR.....	98
Figura 6.15 - Junta utilizada.....	99
Figura 6.16 - Qualificação de procedimento de soldadura.....	99
Figura 6.17 - Certificado de “Qualificação de soldador” pela recente norma ISO 9606-1;.....	100
Figura 6.18 - Certificado de “Qualificação de soldador” pela antiga EN 287-1”.....	101
Figura 6.19 - Exemplo de “Listagem de controlo de soldadores”.....	102
Figura 6.20 - Exemplo do registo do “Controlo de execução de soldadura”.....	103
Figura 6.21 - Exemplo de punçoamento do número identificativo do soldador numa peça soldada..	103
Figura 6.22 - Exigências de formação dos coordenadores de soldadura.....	105
Figura 6.23 - Exemplo de certificado de controlo de produção em fábrica com referência ao coordenador de soldadura.....	106
Figura 6.24 - Soldadura de uma “treliça” com dimensão de 24*4m.....	107
Figura 6.25 - Soldadura de pilares de alma cheia com h=1m e L=10 m.....	107
Figura 6.26 - Detalhe previsto no anexo E.....	108
Figura 6.27 - Exemplo de nó 1.....	108
Figura 6.28 - Exemplo de nó 2.....	108
Figura 6.29 - Exemplo de nó 2.....	108
Figura 6.30 - Forma adequada para “backing strips”.....	108
Figura 6.31 - Aplicação prática de “backing strips”.....	108
Figura 6.32 - Exemplo de gabarits.....	109
Figura 6.33 - Exemplo de pingagem de numa treliça de grandes dimensões.....	110
Figura 6.34 - Colocação de varões nervurados ao longo do perfil de alma cheia.....	111
Figura 6.35 - Colocação de perfis tipo HE nos extremos de treliça metálica.....	111

---

Figura 6.36 - Ilustração da distorção após soldadura em “Junta de canto” e em “Junta de topo a topo” (in Manual ISQ – curso de coordenador de soldadura para EN1090).....	112
Figura 6.37 - Empeno (bem visível) após soldadura de “ base com cutelos” .....	112
Figura 6.38 - Dispositivo rígido para auxiliar na soldadura topo a topo de perfil HEA 450 .....	113
Figura 6.39 - Dispositivo rígido para auxiliar na soldadura de chapa de topo de asna .....	113
Figura 6.40 – Dispositivo rígido a auxiliar na soldadura de chapa de topo de perfil construído .....	113
Figura 6.41 - Exemplo de utilização de chapa de arranque e de fim em soldadura de topo numa obra de classe tipo EX2.....	114
Figura 6.42 – Exemplo de croqui de distribuição de juntas .....	114
Figura 6.43 - Verificação de tolerâncias essenciais em perfis soldados.....	115
Figura 6.44 - Alguns critérios presentes nas tolerâncias funcionais .....	116
Figura 6.45 - Exemplo de asnas com banzos ligeiramente fora de esquadria .....	116
Figura 6.46 - Efeito da decapagem mecânica sobre os salpicos de soldadura .....	118
Figura 6.47 - Outros exemplos de salpicos nas juntas soldadas.....	118
Figura 6.48 - Ilustração do desbordo na ISO 5817.....	119
Figura 6.49 - Exemplos de desbordo.....	119
Figura 6.50 - Ilustração do cordão assimétrico na ISO 5817 .....	120
Figura 6.51 - Zona de cordão especialmente irregular com algum desbordo.....	121
Figura 6.52 - Junta com cordão totalmente assimétrico .....	121
Figura 6.53 - Ilustração para bordos roídos contínuos/intermitentes .....	122
Figura 6.54 - Exemplo de bordos roídos em base de pilar .....	123
Figura 6.55 - Outros exemplos de bordos roídos .....	123
Figura 6.56 - Ilustração para várias tipologias de “falta de fusão” retirada da ISO 6520 .....	124
Figura 6.57 - Confirmação de colagens com líquidos penetrantes.....	125
Figura 6.58 - Outros exemplos de colagens .....	125
Figura 6.59 - Ilustração de “crateras de fim de cordão” pela EN ISO 5817 .....	126
Figura 6.60 - Exemplo de rechupe de cratera.....	126
Figura 6.61 - Ilustração de “poros” pela ISO 6520 .....	127
Figura 6.62 - Poro com processo MIG/MAG.....	127
Figura 6.63 - Poro com processo SAS .....	127
Figura 6.64 - Ilustração da fissuração longitudinal pela norma ISO 6520 .....	128
Figura 6.65 - Fissuração do cordão de raiz após a 1ª tentativa.....	129
Figura 6.66 - Ocorrência de nova fissuração do cordão de raiz após a 2ª tentativa .....	129
Figura 6.67 - Equipamento normalmente utilizado na inspeção visual de juntas soldadas: .....	131
Figura 6.68 - Aplicação de END´s .....	132
Figura 6.69 - Extensão das END suplementares .....	133

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

Todos os materiais a incorporar nas construções executadas na Europa devem cumprir os requisitos básicos fundamentais, estabelecidos no Regulamento dos Produtos da Construção (CPR, 2011). No que se refere às construções em aço, e em particular ao aço em estruturas metálicas, os principais requisitos são a resistência mecânica e estabilidade, a resistência ao fogo e mais recentemente a sustentabilidade. O cumprimento destes requisitos passa em primeiro lugar por calcular e dimensionar as estruturas segundo os Eurocódigos estruturais, sendo o Eurocódigo 3 (CEN, 2007), constituído por diversas partes, o utilizado no projeto de estruturas em aço.

Contudo deve referir-se que, para que os requisitos referidos acima, que visam essencialmente a segurança e funcionalidade das estruturas, sejam efetivamente assegurados, para além do uso das regras de cálculo e de dimensionamento constantes do Eurocódigo 3, é fundamental o cumprimento do conjunto alargado de requisitos de execução estabelecidos na norma EN 1090 – Execução de Estruturas de Aço e de Estruturas de Alumínio. Por outras palavras pode referir-se que a norma EN 1090 contém os requisitos técnicos para a execução de estruturas de aço, componentes de estruturas de aço e componentes em aço para estruturas mistas aço-betão, de forma que os requisitos de dimensionamento (projeto) previstos nos Eurocódigos estruturais aplicáveis sejam cumpridos. A norma aplica-se aos diversos tipos de estruturas (edifícios, pontes, estruturas laminares, ...), incluindo estruturas sujeitas a fadiga ou a ações sísmicas, fabricadas em aço laminado a quente até S 690, em aço enformado a frio até S 690, em aço inox, nos diversos tipos de perfis (I, H, tubulares formados por laminagem a quente ou enformados a frio, ...).

A norma EN 1090 é constituída por 3 partes, estando já disponível na versão NP (língua portuguesa) a parte 1 e 2; essas 3 partes são indicadas a seguir:

- NP EN 1090-1: Requisitos para a avaliação de conformidade de componentes estruturais.
- NP EN 1090-2: Requisitos técnicos para as estruturas de aço.
- EN 1090-3: Requisitos técnicos para as estruturas de alumínio.

A norma NP EN 1090-1 (IPQ, 2013) contém os requisitos gerais que os processos de execução das estruturas em aço e das estruturas em alumínio devem cumprir, com vista à certificação com a marcação CE (processo de certificação obrigatório no espaço europeu a partir de 01 de Julho de 2014). A norma NP EN 1090-2 (IPQ, 2015) inclui os requisitos técnicos de execução para as estruturas em aço; esta parte é constituída por 12 secções (incluindo ainda 12 anexos). A norma EN 1090-3 (CEN, 2008) inclui os requisitos técnicos de execução para as estruturas em alumínio.

Como se referiu antes, a norma EN 1090 estabelece os requisitos gerais a cumprir pelos fabricantes de produtos e produtores de estruturas metálicas com vista à marcação CE. A marcação CE implica que as empresas de fabricação e montagem possuam um sistema de controlo de qualidade (CPF – Controlo de Produção Fabril), que deve conter a informação relevante relativa a: procedimentos de fabrico, calibração de equipamentos, procedimentos de soldadura, coordenador de soldadura, entre outros, certificado por um organismo europeu

O símbolo apresentado na figura 1.1 não é novidade e está presente no nosso quotidiano há vários anos, em todo o tipo de produtos comercializados dentro da união europeia. Em 2010, a obrigatoriedade da marcação CE surgiu naturalmente para os fabricantes de estruturas em aço e estes viram-se obrigados a demonstrar a sua capacidade de fabricação, assegurando a conformidade de todo o controlo de produção em fábrica e na montagem de acordo com as normas NP EN1090-1 e 2.

A entrada em vigor das referidas normas determinou uma série de novas obrigações para as empresas, o controlo de produção de componentes e a necessidade, ou não, de realização de ensaios para cumprimento das mesmas. Apenas desta forma é possível cumprir todas as obrigações legais exigíveis e desenvolver a atividade com segurança e com a confiança de que todos os instrumentos necessários estão reunidos para fabricar e comercializar estruturas metálicas na Europa. Com a normalização da construção pretende-se a remoção de barreiras comerciais na Europa, promover a segurança ecológica e a sustentabilidade, melhorando a segurança dos produtos e das construções.

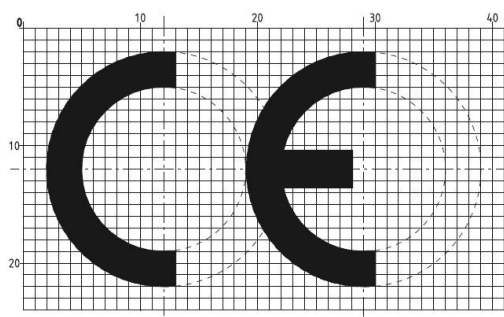


Figura 1.1 – Logotipo CE

## 1.2. A norma EN 1090-2, objetivos e conteúdo

Tal como já foi atrás referido, a norma NP EN 1090-2 (IPQ, 2015) é o “manual” a seguir para controlar todo o processo de fabrico de construção metálica. Esta norma tem por objetivo fornecer os requisitos mínimos que deverão ser cumpridos por todos os fabricantes de estruturas metálicas.

O processo de produção dos componentes de aço estrutural passa a depender assim do cumprimento da NP EN 1090-2; de âmbito bastante amplo, ela introduz diretrizes ao nível dos materiais utilizados, preparação e montagem em fábrica, soldadura, ligações aparafusadas, execução, tratamento superficial, tolerâncias geométricas e inspeção, teste e correção.

Passado o período de adaptação, a partir de 01 de Julho de 2014 todos os fabricantes de estruturas metálicas têm por obrigação evidenciar a marcação CE através da implementação da NP EN 1090 e demonstrar a conformidade do Controlo de Produção em Fábrica. Este certificado (ver Figura 1.2) é obtido após a verificação e validação do processo por auditores externos e independentes.



Figura 1.2 – Exemplo e certificado de conformidade de produção em fábrica

A série NP EN 1090 tem requisitos aplicáveis à execução de estruturas metálicas onde se inclui o dimensionamento e/ou fabrico da estrutura ou componente estrutural; a segurança global e a qualidade de uma estrutura metálica dependem do cumprimento de um conjunto de regras e procedimentos, desde a fase e conceção e projeto até a conclusão da obra, incluindo as fases de fabrico, execução e montagem.

O dimensionamento e a execução de estruturas em aço devem ser realizados de acordo com um nível de fiabilidade requerido. Os níveis de fiabilidade devem ser alcançados através da adoção de medidas adequadas de controlo de qualidade do projeto e da execução das estruturas. O nível de fiabilidade a exigir para uma estrutura depende da forma como se atinge um estado limite e do risco de perda de vidas humanas. A norma NP EN 1990, no seu Anexo B, estabelece



três níveis de fiabilidade: RC1, RC2 e RC3, relacionados com as 3 classes de consequências: CC1, CC2 e CC3, com níveis de magnitude das consequências de uma rotura decrescentes da classe CC1 para a CC3.

Em termos de execução, o nível de fiabilidade requerido para uma estrutura metálica é assegurado com base nas classes de execução, definidas na norma NP EN 1090-2. Nesta norma são definidas quatro classes de execução, designadas por EXC1, EXC2, EXC3 e EXC4, com graus de exigência crescentes da classe EXC1 até à classe EXC4. Os requisitos de execução específicos de cada classe são descritos ao longo da norma. A classe de execução de uma determinada estrutura (ou parte desta) depende da categoria de produção, da categoria de serviço e da classe de consequência; esta deve ser determinada com base no Anexo B da norma NP EN 1090-2, usando a matriz apresentada no Quadro 1.1

Quadro 1.1 – Determinação da classe de execução

Classes de consequências		CC1		CC2		CC3	
Categorias de serviço		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorias de produção	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC3 <sup>a</sup>
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC4
<sup>a</sup> A classe de execução EXC4 deve ser aplicada a estruturas especiais ou estruturas com consequências extremas no caso de uma falha estrutural tal como requerido pelas disposições nacionais							

No Anexo B da norma NP EN 1090-2 são definidas duas categorias de serviço: SC1 – Estruturas submetidas a ações quase-estáticas, ações sísmicas ou de fadiga de baixa intensidade e SC2 – Estruturas submetidas a vibrações, fadiga ou ações sísmicas em regiões de média a elevada atividade. Em termos de categorias de produção, na mesma norma são definidas duas categorias: PC1 – Estruturas sem componentes soldados ou com componentes soldados fabricados em aço de classe inferior a S 355 e PC2 – Estruturas com componentes soldados fabricados em aço de classe S 355 ou superior ou outros componentes de elevada complexidade de fabrico, como sejam: componentes essenciais para a integridade da estrutura soldados em obra, componentes enformados a quente ou que necessitem de tratamento térmico durante a produção e componentes com secção tubular circular em vigas treliçadas que necessitem de cortes de extremidade.

A escolha da classe de execução deve ser efetuada pelo projetista em concordância com o dono de obra, uma vez que esta vai ter influência no nível de fiabilidade requerido e naturalmente repercussões diretas nas exigências de execução e consequentemente no custo global da estrutura. Numa próxima revisão da regulamentação europeia, o conteúdo do Anexo B da norma EN 1090 passará para um anexo do Eurocódigo 3, Parte 1.1 (IPQ, 2017).

A NP EN 1090-1 (IPQ, 2013) foi a primeira da série a estar disponível em Portugal e define os requisitos de conformidade e os métodos de avaliação aplicáveis à execução de estruturas metálicas em aço ou alumínio com base na diretiva dos produtos de construção 89/106/CEE, revogada em Julho de 2013 pelo regulamento dos produtos de construção nº 305/2011.

A parte 3 desta série está neste momento já traduzida pela comissão técnica CT-182 do IPQ mas ainda não foi aprovada, ela trata das “exigências técnicas para estruturas em alumínio”.

### 1.3 Objetivo da tese

O conteúdo desta tese tenta refletir a experiência do autor de quase 12 anos de trabalho no seio da construção metálica, dentro de algumas metalomecânicas do mercado nacional. Durante este período, diversas atividades foram exploradas e executadas em áreas distintas; salienta-se a orçamentação, o projeto estrutural, a preparação de trabalho detalhado para produção, a coordenação e a gestão de projeto quer em fabrico quer em montagem e mais recentemente no processo de qualidade, mais especificamente na coordenação de soldadura.

Não faz muito tempo que o Regulamento de estruturas de aço para edifícios “REAE” (1983) e o Regulamento de segurança e ações “RSA” (1986) eram as normas lecionadas na maioria das universidades e politécnicos; hoje, os Eurocódigos passam a regulamentar o sector, absorvendo por completo as diretrizes de projeto, de fabricação e de montagem. Portugal neste período sofreu uma enorme transformação na forma de trabalhar o aço estrutural e num curto espaço de tempo o sector teve de se adaptar rapidamente às exigências do espaço europeu.

Desta forma e quase 3 anos depois da implementação da norma NP-EN1090-2 (IPQ, 2015) e envolvendo apenas algumas das fases mais importantes do processo construtivo, pretende-se tentar compreender até que ponto a implementação desta normativa trouxe grandes alterações ao dia-a-dia da indústria focando as principais dificuldades encontradas na sua implementação.

### 1.4 Organização da tese

A presente tese está estruturada em sete capítulos.

No primeiro capítulo é introduzida a temática em estudo e fundamenta-se o objetivo da sua elaboração; define-se a NP-EN1090-2 (IPQ, 2015) e explica-se a sua importância perante o espaço europeu. Esta norma define os requisitos técnicos para as estruturas de aço, incluindo os procedimentos aplicáveis a todas as fases, a definição de produtos, fabricação, transporte e montagem, tratamento superficial e inspeção.

O segundo capítulo abrange os “Produtos Constituintes” mais utilizados durante a fabricação, ou seja, a matéria-prima utilizada na produção. Descrevem-se os tipos de certificados e normas de produtos normalmente rececionados e faz-se uma análise comparativa face à norma regulamentadora; abordam-se conceitos essenciais tais como identificação, rastreabilidade, estados de superfície, graus de preparação e tratamento de superfície e dá-se especial ênfase aos procedimentos de controlo mais utilizados pela indústria.

No terceiro capítulo aborda-se o manuseamento e a armazenagem dos produtos longos e faz-se uma análise comparativa com os requisitos definidos na norma NP EN 1090-2; apresentam-se bons e maus exemplos de problemas regularmente encontrados em fábrica e/ou estaleiro. De igual forma faz-se um resumo dos principais procedimentos para garantir e salvaguardar as características físicas e químicas do material de adição.

O quarto capítulo trata sobre os processos de corte aprovados pela NP EN 1090-2 e explica-se a importância de um bom acabamento na superfície de corte. Indicam-se quais os processos mais utilizados pelas metalomecânicas e discute-se o procedimento descrito na norma para a verificação da capacidade destes processos.

No quinto capítulo aborda-se a furação e indicam-se as vantagens das ligações aparafusadas em substituição das soldadas; apresentam-se os processos mais utilizados e mais exigentes previstos na norma NP EN 1090-2; abordam-se os principais procedimentos utilizados para a avaliação da capacidade deste processo e verifica-se a execução de alguns preceitos sugeridos pela norma.

O sexto capítulo trata o tema da soldadura, um dos pontos processos mais importantes e complexos da fabricação, onde se descrevem os requisitos mais importantes referidos na NP EN 1090-2; abordam-se planos de qualidade, a qualificação de procedimentos de soldadura, qualificação de soldadores/operadores, rastreabilidade de juntas soldadas; exploram-se os ensaios não destrutivos mais utilizados e os critérios de aceitação; no final clarifica-se o papel da coordenação de soldadura e apresentam-se alguns exemplos práticos das imperfeições mais comuns normalmente encontradas.

No sétimo e último capítulo apresentam-se as conclusões globais do trabalho desenvolvido de acordo com os objetivos traçados.

## **2. PRODUTOS CONSTITUINTES**

### **2.1 Produtos e normas relevantes**

O capítulo 5 da norma NP EN 1090-2 (IPQ, 2015) foca todos os tipos de produtos que poderão ser utilizados na fabricação e montagem de estruturas metálicas. Em suma, para cada tipo de produto encontra-se definido um certificado adequado, um documento de inspeção próprio e uma norma específica para o produto que estabelece todos os requisitos de produção incluindo as tolerâncias obrigatórias. Especificamente, o aço (nas diversas formas e processos de produção), os ligadores mecânicos, os consumíveis de soldadura, os cabos de alta resistência, o material de selagem, os conectores, bem como outros materiais mais específicos, passam a estar devidamente controlados dentro do seio da construção metálica; essa informação é vital para regulamentar todo o sector, revelando-se da maior importância para fabricantes de estruturas metálicas, fabricante de produtos constituintes, armazenistas, projetistas, fiscalização, clientes, entre outros.

Do ponto de vista do fabricante de estruturas, é agora possível controlar, avaliar e criticar todo o produto constituinte rececionado de forma mais facilitada e diligente, com argumentos mais estruturados e fundamentados, que fomentam o desenvolvimento de um dado produto com mais qualidade e com melhores características. No passado as dificuldades de argumentação associadas à falta de conhecimento e de normalização impossibilitavam por vezes a negociação de uma troca ou de uma devolução.

### **2.2 Procedimentos de controlo de qualidade dos produtos**

#### **2.2.1 Procedimentos gerais**

Durante a execução de um projeto, principalmente após a aquisição de materiais de base e produtos constitutivos (os aços estruturais, os consumíveis de soldadura e as fixações), a organização deverá ter instrumentos de controlo eficazes para gerir a entrada e saída de todo o material em fábrica, forçando o executante de estruturas a criar rotinas personalizadas no sentido de assegurar que todas as exigências regulamentares sejam cumpridas.

A qualidade final do produto acabado depende assim da correta aplicação de métodos e procedimentos que vão desde a receção dos materiais até à expedição/montagem do produto final, e assim sendo, torna-se necessário que cada uma das atividades dentro da organização possua um plano de inspeção e ensaios (PIE) próprio e adaptado onde estão definidos todos os pontos de paragem e/ou verificação considerados necessários para garantir a qualidade final pretendida.

Um PIE deverá descrever no mínimo o método de ensaio a utilizar pelo operador, a frequência de amostragem, as normas regulamentadoras em vigor e também o tratamento adequado aos chamados produtos não conformes ou seja todos aqueles que não se encontrem em condição para serem utilizados.

Na Tabela 2.1 é apresentado um exemplo de um plano de inspeção e ensaio para a operação “Receção de materiais”, que servirá de ponto de partida para o controlo e avaliação de alguns pontos fundamentais descritos na norma NP EN 1090-2.

Tabela 2.1 - Exemplo de plano de inspeção e ensaios para a receção dos materiais

Nº	FASES DA ACTIVIDADE	NORMATIVOS/PROCEDIMENTOS	DOCUMENTOS DE ACEITAÇÃO	REGISTOS	CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO	FREQUÊNCIA /TAMANHO DA AMOSTRA
1	RECEPÇÃO DE MATERIAIS					
1.1	Verificação dos materiais de acordo com a encomenda	-	Nota de encomenda / Guia de transporte	Validação da guia	Materiais a	100%
1.2	Verificação dos certificados dos materiais base	NP EN 10025+A1 : 2004	Conformidade para com as normas aplicáveis NP EN 10204/3.1	Validação do certificado	Certificados válidos e de acordo com normas identificadas	100%
		EN 10204:2004 CE				
		EN1090-2:2008				
1.3	Verificação dos materiais de adição	EN10326:2004	Conformidade dos certificados para com as normas aplicáveis NP EN 10204/2.2	Validação do certificado	Certificados válidos e de acordo com normas identificadas	100%
		NP EN 439:1998				
		NP EN 10204-22 3.1B				
		AWS A5.18:ER70S-6				
		AWS A5.1E7018				

## 2.2.2 Certificados EN 10204 e normas de produto

O certificado de inspeção segundo a EN 10204 (CEN, 2004) [Produtos metálicos - Tipos de documentos de inspeção] é um documento emitido pelo fabricante onde se declara a conformidade do material com a encomenda e onde se incluem resultados específicos realizados durante a produção; desta forma, e tal como foi atrás referido, qualquer um dos produtos constituintes terá de se apresentar no mercado com um certificado obrigatório de acordo com esta norma e adequado à classe de execução que pode ir desde o 2.1, o mais permissivo, até ao 3.2 que se impõe como o mais restritivo. A Tabela 2.2, retirada do Manual de Execução de Estruturas Metálicas (Silva et al, 2011) apresenta um resumo dos certificados existentes.

Tabela 2.2 – Resumo dos tipos de certificados “EN 10204 - documentos de inspeção em produtos metálicos”

	Designação	Conteúdo	Emitido por:
<b>Tipo 2.1</b>	Declaração de conformidade com a encomenda	Declaração de conformidade com a encomenda	Produtor
<b>Tipo 2.2</b>	Relatório de Ensaio	Declaração de conformidade com a encomenda e com os resultados de ensaios mas, sem especificar a norma	Produtor
<b>Tipo 3.1</b>	Certificado de inspeção 3.1	Declaração de conformidade com a encomenda e com os resultados de ensaios especificados numa dada norma	Entidade produtora independente do sector de produção
<b>Tipo 3.2</b>	Certificado de inspeção 3.2	Declaração de conformidade com a encomenda e com os resultados de ensaios especificados numa dada norma	Entidade produtora independente do sector de produção e/ou um representante do comprador

A real aplicabilidade da utilização deste tipo de certificados como especificado na “EN 10204” durante as transações comerciais é exemplificada de forma resumida na tabela 2.3 e devidamente justificada pelas notas apresentadas a seguir.

Tabela 2.3 - Tabela resumo de verificação dos certificados “EN10204 – Produtos metálicos Tipos de documentos de inspeção”

<i>PRODUTO CONSTITUTIVO</i>		<i>DOCUMENTOS INSPEÇÃO “EN10204” CHECK?</i>
<i>Aços Construção</i>	Aços-carbono de construção	OK
	Chapas e Bandas aptas para enformagem a frio	OK
	Aços inoxidáveis - Chapas placas e Bandas	OK
<i>Produtos Consumíveis</i>	Oxigénio	KO
	Propano	
	Gases de protecção - Corgon	OK
	Eléctrodos e fios consumíveis	OK
	Eléctrodos revestidos (111)	OK
<i>Fixações</i>	Ligações aparafusadas estruturais	KO
	Parafusos <u>auto-roscantes</u> e parafusos <u>autoperfurantes</u> e rebites cegos	

#### i. Aços de Construção

Estes tipos de produtos constitutivos apresentam normalmente os certificados e as normas de produtos corretas e de acordo com o exigido na NP EN 1090-2.

## ii. Produtos Consumíveis

Como se pode verificar na Tabela 2.3, alguns produtos consumíveis apresentam uma não conformidade; observando atentamente o Quadro 1 da NP EN 1090-2, verifica-se a necessidade de um certificado 2.1 para “Consumíveis de soldadura” e consequentemente para “Gases de protecção para soldadura por arco e para corte” (através do redireccionamento para a tabela 5 da mesma norma). Este requisito causa grande discussão no meio industrial visto que em geral nenhum certificado deste tipo é entregue no momento da compra, sendo normalmente substituído por uma vulgar ficha de produto.

Esta situação já foi colocada a várias equipas auditoras com experiência na área das certificações para marcação CE - EN1090 e é reconhecidamente uma questão ambígua e regularmente colocada pelo mercado executante.

No entanto e apesar da inexistência do referido certificado, as normas de produtos obrigatórias encontram-se presentes na documentação rececionada e estão de acordo com as especificações da NP EN1090-2, resumidas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Tabela resumo de verificação “normas produto”

CONSUMIVEIS PARA SOLDADURA	NORMAS PRODUTO	CHECK
Gás de protecção para soldadura por arco eléctrico e corte:		
• Oxigénio *	EN ISO 14175	OK
• Corgon *	EN ISO 14175	OK
• Propano *	-	-
Eléctrodos fluxados para soldadura por arco eléctrico com ou sem gás protecção de aços não ligados e de grão fino	EN ISO 17632	OK
Eléctrodos revestidos para soldadura por eléctrodo revestido manual de aços não ligados ou de grão fino	EN ISO 2560	OK

## iii. Fixações

O campo das fixações é sem dúvida alguma aquele que mais questões levanta relativamente ao certificado EN 10204. Na realidade o certificado surge efetivamente aquando da compra mas de uma forma “diferente” daquilo que é devido e por vezes até muito suspeitosa.

Apresentam-se de seguida alguns pontos críticos encontrados durante a análise de mercado efetuada.

a) Certificados “EN 10204: Produtos metálicos - Tipos de documentos de inspeção”

Muitas vezes o certificado surge mas não é o decididamente o documento original tal como acontece no caso dos aços estruturais; de acordo com a EN 10204 “*um intermediário deve apenas passar o original ou a cópia do documento de inspeção do fabricante sem qualquer alteração...*”, ao invés, recebem-se vulgares “fichas técnicas” denominadas por declarações do tipo 2.1 com indicação da norma dimensional, das propriedades mecânicas “tipo” e da proteção anticorrosiva mas sem qualquer referência a um lote específico.

b) Norma de produto “Zincagem VS Galvanização”

Enquanto o parafuso zincado se apresenta no mercado com a norma obrigatória EN ISO 4042 (ISO,1999) [Fasteners – Electroplated coatings], o parafuso galvanizado surge por vezes com um certificado de galvanização completamente desapropriado.

A norma NP EN ISO 10684 (IPQ, 2013) [Fasteners - Hot dip galvanized coatings] é específica para este tipo de casos de galvanização de fixações roscadas e nem sempre é verificada, ao invés, encontra-se muitas vezes substituída pela norma EN ISO 1461 (CEN, 2009) [Revestimentos de zinco por imersão a quente sobre produtos acabados de ferro e aço - Especificações e métodos de ensaio] que foi concebida especificamente para galvanização de elementos metálicos correntes (ver figura 2.1 e 2.2).

**ACABAMENTO / PROTECÇÃO SUPERFICIAL De acordo com a norma ISO 4042**

**Zincagem electrolitica A2K**

**A - Material do revestimento. ZINCO**

**2 - Espessura do revestimento: 5 µm**

**K - Acabamento / Passivação (cor típica): Brilhante / Azulado**

Figura 2.1 - Exemplo de certificado de parafusos com tratamento superficial zincado onde se verifica a indicação da norma ISO 4042



**ACABAMENTO / PROTEÇÃO SUPERFICIAL** De acordo com a norma ISO 1461**Galvanizado a quente**

Tabela 5 – Espessuras mínimas de revestimento em produtos centrifugados

Diâmetro de rosca	Espessura de revestimento localizada (min) [ $\mu\text{m}$ ]	Espessura de revestimento média (min) [ $\mu\text{m}$ ]
> 20 mm	45	55
$\geq 6$ mm < 20 mm	35	45
< 6 mm	20	25

Figura 2.2 - Exemplo de um certificado de parafusos com tratamento superficial galvanizado onde se verifica a indicação da norma ISO 1461;

c) Normas Alemãs (DIN) VS Normas Europeias (EN)

Embora não seja transversal a toda a indústria, a utilização das normas alemãs (DIN) em detrimento das normas europeias (EN) continua a ser uma realidade no nosso país e talvez o maior dos incumprimentos encontrados.

A EN 1090-2 indica claramente a necessidade de utilização de produtos com um grau de controlo no fabrico mais rigoroso e exigente, um controlo apenas conseguido através da utilização de fixações da norma EN 15048-1 (CEN, 2016) [Non-preload structural bolting assemblies] para “ligações correntes” e da norma EN 14399-1 (CEN, 2015) [High strength structural bolting for preloading] para o caso das “ligações pré-esforçadas”; ao invés disso, temos uma utilização preferencial e sistematizada das antigas e conhecidas normas DIN face às EN.

Os motivos são variados e poderão ser explicadas se tivermos em consideração que uma grande maioria dos fornecedores ainda não demonstra formação adequada para comercializar estes produtos, e desconhecendo o produto é por vezes difícil aconselhar o cliente e prestar o apoio necessário.

Confirma-se que já existem alguns fornecedores a nível nacional com fortes ligações ao mercado externo europeu e que evidenciam adequada formação/informação para a venda de produtos da gama EN; infelizmente apresentam quase sempre extensos prazos de entrega atingindo 2 a 3 semanas após encomenda.

Estes prazos tornam-se limitativos quando comparados a entrega imediata no caso das normas DIN; esta indisponibilidade de *stock* é um grande inconveniente que se torna ainda mais problemático nos casos em que o tratamento do produto se pretende galvanizado.

Por último faz-se referência ao “preço” que é sem dúvida um importante fator a considerar e potencialmente o maior dos obstáculos encontrados. Os produtos da gama EN apresentam elevados preços de mercado quando comparados com os da norma DIN e isso promove sem dúvida a sua não utilização preferencial.

Na Tabela 2.5, apresenta-se um estudo comparativo de preços realizado entre as duas normas acima referidas, além de se observar claramente a grande diferença existente entre elas comprova-se também aquilo que foi referido acima.

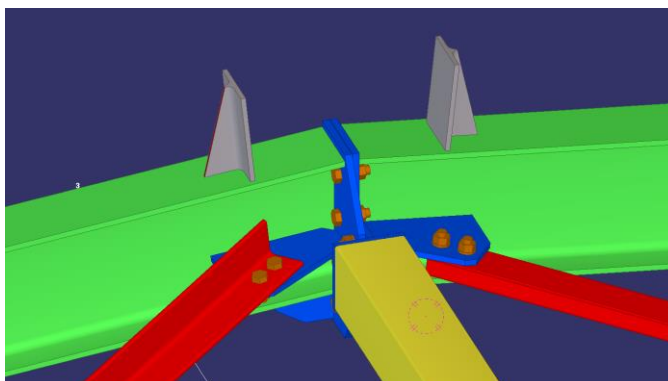
Tabela 2.5 - Comparativo de preços entre fixações das normas DIN e normas EN

outubro 13						
A	DESCRIÇÃO	QUANT. [un]	DIN 933 (8.8)		EN 14399 (Lig. Pré-esforçadas)	
			PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
			€/un	€	€/un	€
	Parafusos + porca M16*70	500,000	0,256	128,000	0,634	317,000
	Parafuso + porca M20*55	150,000	0,398	59,700	0,827	124,050
	Parafuso + porca M20*85	20,000	0,553	11,060	1,072	21,440
	Parafuso + porca M24*55	20,000	0,660	13,200	1,382	27,640
				<b>211,960 €</b>		<b>490,130 €</b>
					<b>231,2%</b>	
maio 15						
B	DESCRIÇÃO	QUANT. [un]	DIN 933 (8.8)		EN 15048 (Lig. Correntes)	
			PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
			€/un	€	€/un	€
	Parafusos + porca M24*80	3000,000	0,924	2771,100	1,495	4483,800
	Parafuso + porca M20*60	4000,000	0,410	1638,000	0,802	3208,400
	Parafuso + porca M12*40	2000,000	0,098	195,600	0,187	373,200
	Parafuso + porca M12*30	2000,000	0,086	171,200	0,166	331,000
				<b>4.775,900 €</b>		<b>8.396,400 €</b>
					<b>175,8%</b>	
janeiro 17						
C	DESCRIÇÃO	QUANT. [un]	DIN 933 (8.8)		EN 14399 (Lig. Pré-esforçadas)	
			PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
			€/un	€	€/un	€
	Parafusos + porca M14*40 [Galv.]	50,000	0,373	18,650	1,885	94,250
	Parafusos + porca M18*50 [Galv.]	50,000	0,682	34,100	2,623	131,150
				<b>52,750 €</b>		<b>225,400 €</b>
					<b>427,3%</b>	

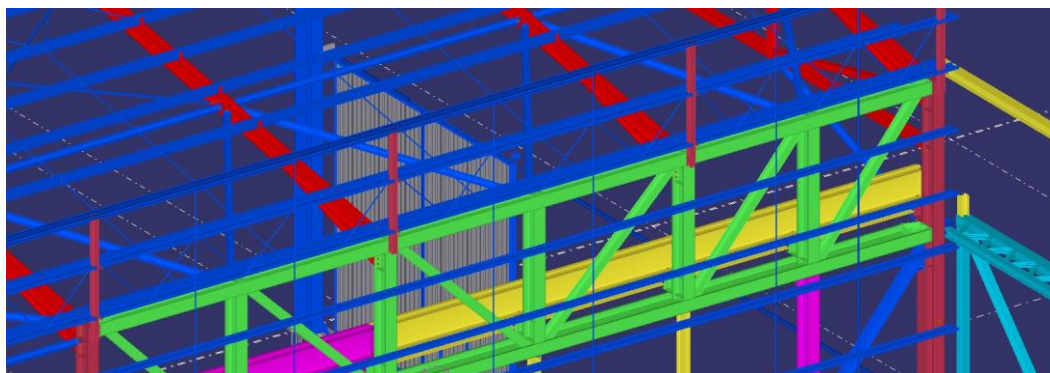
### 2.2.3 Identificação e rastreabilidade

#### i. Identificação

A identificação de todas as peças é indispensável, este processo inicia-se em projeto e promove que a montagem em fábrica e em obra decorram no menor espaço de tempo possível, permitindo ainda a salvaguarda das exigências de qualidade do processo. Pode-se afirmar com convicção que a grande maioria das metalomecânicas em Portugal (que tem em vista o alcance do mercado externo e a expansão como estratégia organizacional) já possui um *software* de modelação tridimensional “BIM” a auxiliar os trabalhos de preparação e pormenorização dos projetos. Com este tipo de ferramenta, a grande maioria do trabalho é executada de forma célere e sem grande margem para erros. O formato “*friendly-user*” e a elevada versatilidade (figura 2.3) destes programas tornam a modelação facilitada para o preparador de trabalho e primam pelo rigor e excelência; no final do processo todas as identificações das peças surgem de forma automática.



a) Pormenorização dos nós



b) Modelação Geral

Figura 2.3 - Exemplo de modelação BIM

É certo que outras preparações mais simples e menos exigentes são também ainda realizadas com recurso a um *software* “CAD” bidimensional ou até mesmo através do simples desenho manual; ainda assim, a cultura e a necessidade de identificação de todas as peças continua sempre a prevalecer.

A forma e as regras de numeração são diversas e variam muito de organização para organização, umas mais elaboradas outras mais simples. No final o objetivo é cumprido e a sequência produtiva ganha novos contornos, quer seja através da eficaz montagem das peças constituintes em fábrica, quer através da montagem em obra que se torna muito mais eficiente.

Nas figuras 2.4 e 2.5 pode-se observar que qualquer que seja a forma utilizada na preparação de trabalho e qualquer que seja o método de numeração utilizado, a identificação é uma constante nunca negligenciada e sempre utilizada.

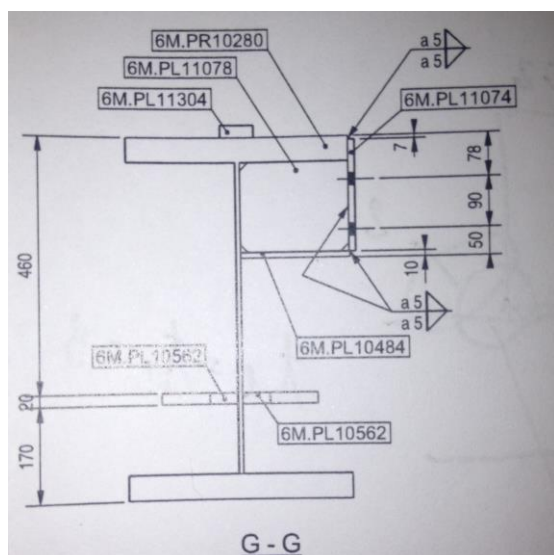


Figura 2.4 - Exemplo de preparação com recurso a um *software* “BIM”

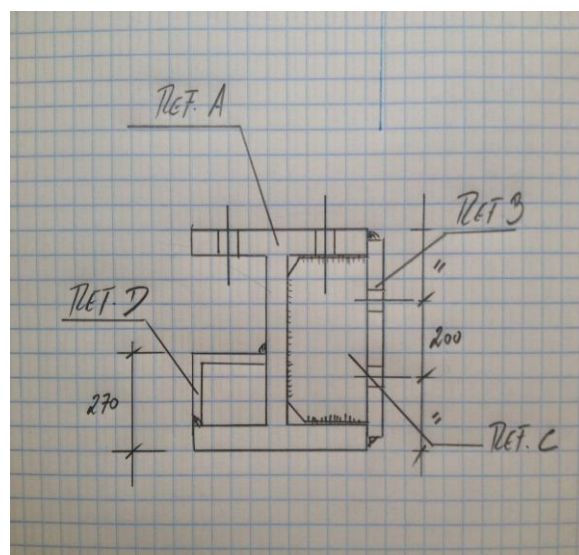


Figura 2.5 - Exemplo de preparação de forma mais “manual”

De acordo com as regras da NP EN 1090-2 e conforme a classe de execução e tipo de material base, todas as peças são marcadas com a sua respetiva referência individual ou por lote; todas as peças são referenciadas de uma forma temporária ou permanente recorrendo ao punção, ao giz ou ao marcador de tinta permanente. Trata-se de uma necessidade organizacional e uma etapa vital no controlo de toda a linha de produção desde o início até ao fim. Nas figuras 2.6 a 2.10 são apresentados alguns exemplos de identificação e de marcação realizadas em fábrica.



Figura 2.6 - Identificação das peças constituintes através de marcador próprio



Figura 2.7 - Marcação de componentes através de punção

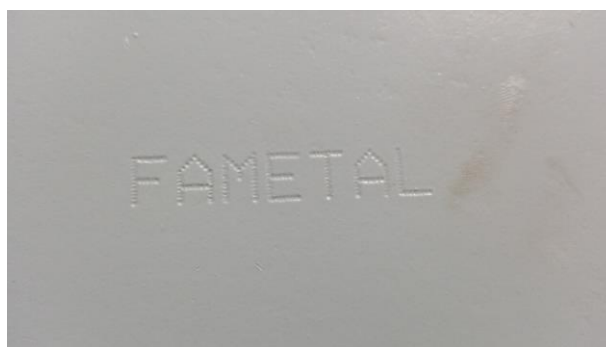


Figura 2.8 - Marcação de componentes através de “micro-percussão”



Figura 2.9 - Marcação de componentes em material galvanizado por etiquetagem



Figura 2.10 - Marcação de componentes em material galvanizado com marcador de tinta permanente

## ii. Rastreabilidade

A rastreabilidade é a capacidade de identificar matérias-primas ao longo de todo o processo produtivo. A definição de rastreabilidade envolve não só o “conhecimento do produto” mas também o conhecimento “de onde vem” e “para onde foi”, além de que deve garantir o acompanhamento do seu percurso ao longo da vida.

A rastreabilidade é uma exigência legal que deve ser assegurada ao longo da vida útil da estrutura e, face ao disposto na cláusula 5.2 da NP EN 1090-2, deve ser controlada e gerida em função da respetiva classe de execução; a referida cláusula descreve que para classe de execução EXC1 não se tenha de executar qualquer rastreio, para classe de execução EXC2 dever-se-á realizar um rastreio parcial e para classes de execução EXC3 e EXC4 dever-se-á proceder a uma rastreabilidade total.

A rastreabilidade assume grande importância não apenas no momento da fabricação da peça por razões de resistência mecânica, de soldabilidade, etc., mas também a médio/longo prazo face a uma potencial falha em serviço, onde a manutenção dos dados históricos permitam auxiliar o diagnóstico do problema e orientar a sua adequada correção/reparação.

Torna-se assim imprescindível possuir um adequado sistema de armazenamento de documentação de matéria-prima aliado a rotinas e procedimentos expeditos para a obtenção dos mesmos.

Se se tiver em consideração o elevado número de peças constituintes que definem um componente, apercebemo-nos de imediato da grande complexidade deste requisito. Ainda assim, constata-se que a grande maioria das metalomecânicas aquando na receção do material identifica o produto ao respetivo certificado do fabricante.

Desta forma, no final do processo, cada montagem detém um historial detalhado com a constituição/proveniência de cada peça constituinte e com perfeito conhecimento da sua origem.

Na figura 2.11 pode-se visualizar um exemplo de identificação da matéria-prima na chegada à fábrica, uma identificação obrigatória prevista pelo “PIE” que consiste na colocação de uma referência interna designada por “Referência de entrada no sistema” ou “Guia de entrada”; a cada uma destas referências fica imediatamente associado o respetivo certificado do fabricante.

Na figura 2.12 ilustra-se um exemplo de um “desenho de corte” para fabricação; neste caso específico, a peça constituinte tem a referência 30012 e o espaço destinado para a colocação da “Guia de entrada” encontra-se devidamente preenchido pelo operador.

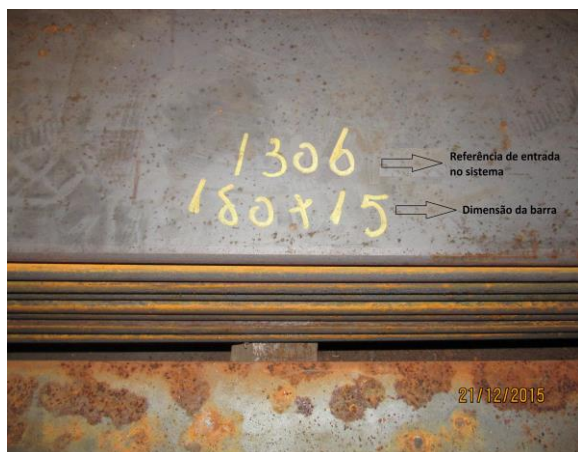


Figura 2.11 - Exemplo de identificação da matéria-prima

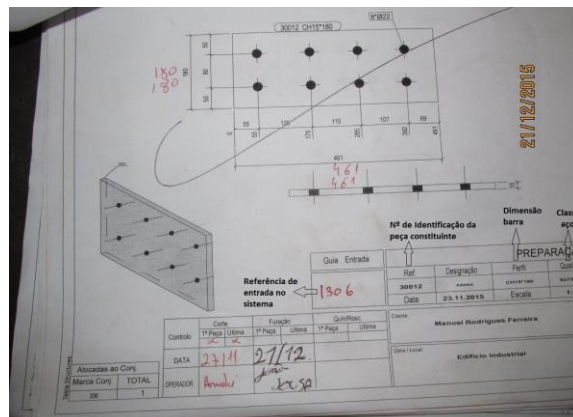


Figura 2.12 - Exemplo de desenho de corte (peça constituinte) com a colocação manual do código de entrada

Na figura 2.13 ilustra-se a peça acima referida, já produzida e pronta para ser montada na peça principal; normalmente identifica-se a marcador o nº de obra e a referência identificativa da peça.

Na figura 2.14 apresenta-se uma série de detalhes presentes no “desenho de montagem” onde a peça 30012 vai ser incorporada. Este excerto de desenho de conjunto é essencial e alia a componente “desenhada” com a “escrita”; trata-se de um verdadeiro “Bilhete de Identidade” dado que permite conhecer as peças constituintes que foram utilizadas e qual a proveniência de cada uma delas.



Figura 2.13 - Exemplo da identificação nas peças “30012” após fabricação

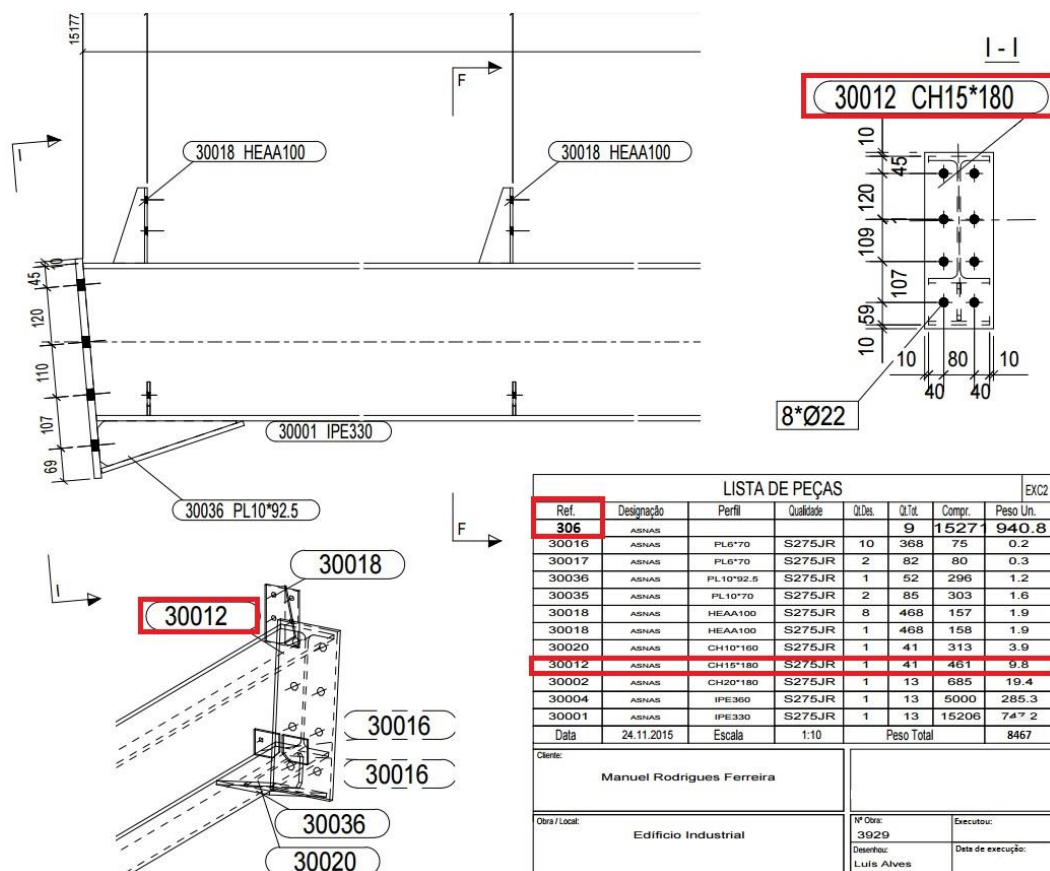


Figura 2.14 - Identificação da peça “30012” no desenho de conjunto “306”

Todos estes desenhos de “corte” e de “conjunto” com os respetivos registos de controlo deverão ser armazenados para memória futura pois apenas desta forma poderão ser utilizados em caso de necessidade. Ainda assim, alerta-se que do ponto de vista das equipas auditoras para “Marcação CE de acordo com a NP EN1090” existem alguns pontos críticos recorrentes no controlo da rastreabilidade, são eles:

a) Identificação do material

Por forma a garantir que a rastreabilidade nunca se irá perder durante a fabricação, é importante que a referência identificativa permaneça gravada nas peças constituintes até ao último pedaço de material (perfil ou chapa). Os operadores de corte deverão manipular o material e executar o corte sempre pela extremidade oposta à localização da identificação e se por acaso ela se encontrar num ponto intermédio, tem de ser transferida obrigatoriamente para o seu final tal como previsto na figura 2.15.



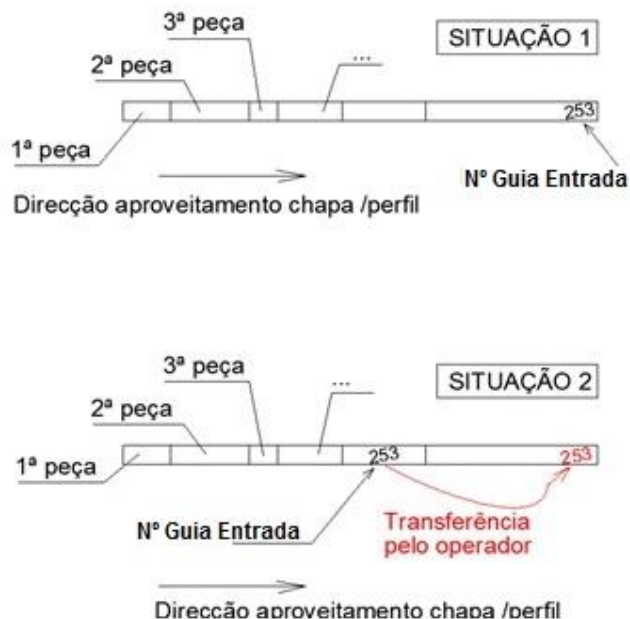


Figura 2.15 - Procedimento com sequência de corte e de identificação do material base

A utilização de cores para diferenciar a qualidade do aço é um procedimento muito valorizado pelas equipas auditoras; a figura 2.16 é representativa dessa situação e neste caso a cor vermelha representa a classe de aço S355.



a) Barras 300\*15 em S355

b) L70\*7 em S355

Figura 2.16 – Exemplo de diferenciação do material através de cores

b) Identificação no certificado

Convém alertar que não basta ligar uma encomenda a um certificado; normalmente os certificados de “aços estruturais” descrevem variados nºs de lote onde não consta apenas uma encomenda específica mas também outros relativos a outras organizações. Esta correspondência e ligação à encomenda deverá ser imediatamente realizada na fase de receção do material, a diferenciação e a seleção é realizada através do nº de lote/vazamento/colada e o mesmo deverá ser assinalado no certificado para que não existam quaisquer dúvidas no futuro, tal como ilustrado no exemplo da figura 2.17.

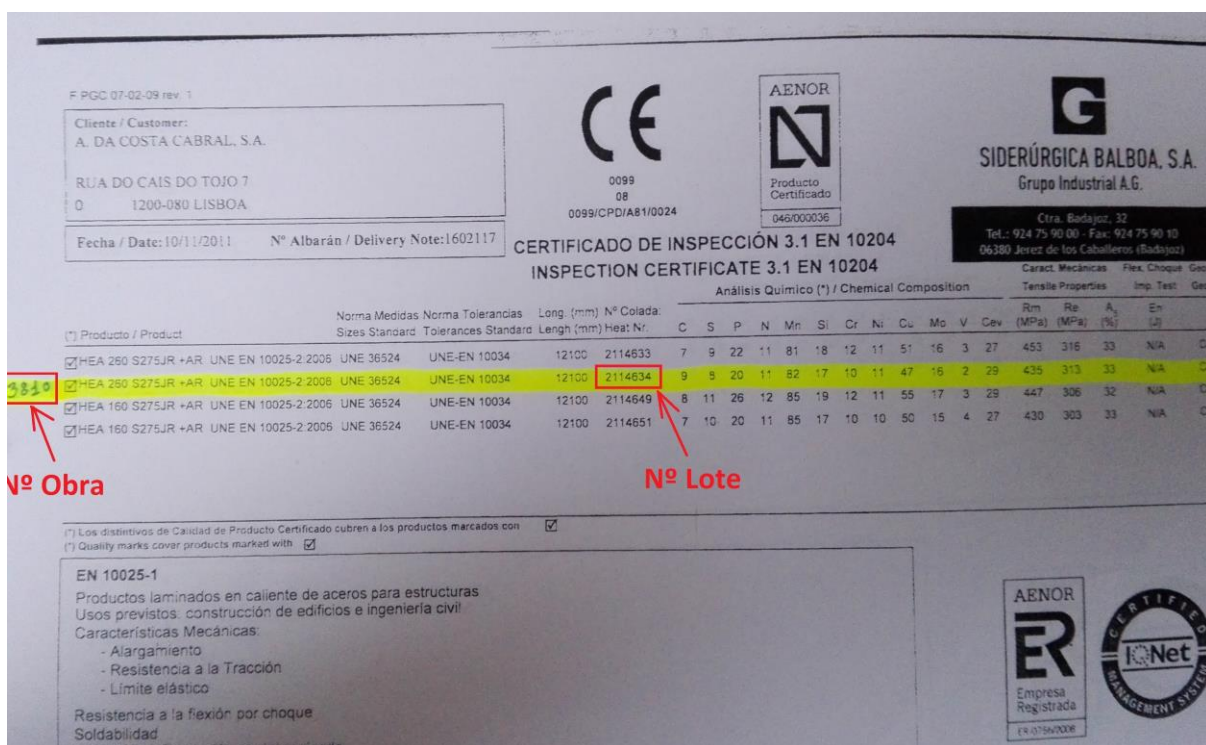


Figura 2.17 - Certificado do material com referência manual do nº de obra

## 2.2.4. Certificados EN 10034 e medições geométricas

Durante a fabricação de perfis laminados na siderurgia, produzem-se inevitavelmente irregularidades geométricas que podem afetar a sua forma, posição e orientação. Se esses desvios não forem devidamente controlados, poderão afetar de forma significativa o comportamento da estrutura produzindo efeitos opostos ao pretendido.

É consensual que as estruturas metálicas apresentam várias vantagens relativamente às estruturas de betão armado; a velocidade de execução é talvez a maior das vantagens na utilização do aço, mas para que isso aconteça torna-se fundamental que a fabricação seja executada com o máximo rigor, o que depende também do uso de uma matéria-prima isenta de imperfeições.

De acordo com a cláusula 5.3 da NP EN 1090-2 torna-se então necessário que o controlo dos diversos materiais seja executado através de uma determinada norma de tolerância dimensional. A EN 10034 (CEN, 1993) [Structural steel I and H sections - Tolerances on shape and dimensions] é a norma aplicável para o controlo de perfis I ou H em aço estrutural ao carbono e como tal o seu cumprimento deverá ser garantido pelo produtor de aço. Após a fabricação, o produtor terá de fazer a verificação dos pontos essenciais ilustrados na figura 2.18; a altura “h”, a largura “b”, a espessura da alma “tw”, a espessura do banzo “tf” e ainda a esquadria e a centragem da alma têm de estar dentro das tolerâncias respetivas.

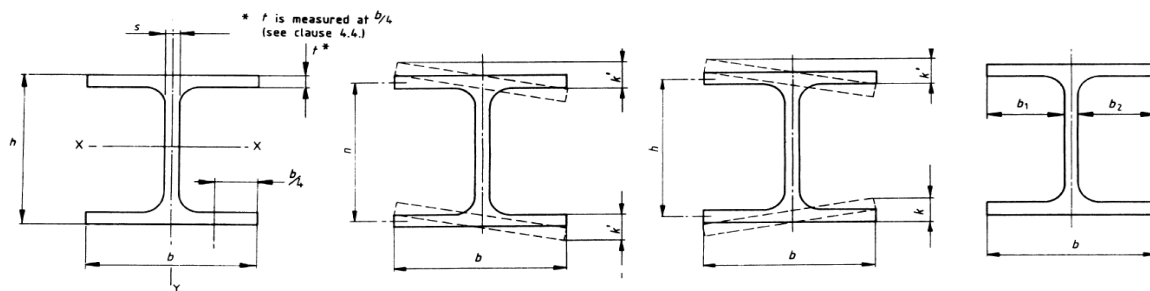


Figura 2.18 - Imagem retirada da norma EN10034

Após análise documental, pode-se dizer que todos os produtores de aço emitem certificados semelhantes aos exemplos ilustrados como na figura 2.19. Estes certificados permitem assegurar a conformidade das tolerâncias dimensionais de acordo com a EN 10034.

Constata-se que todos os “certificados de qualidade” deste tipo de secções envolvidos no estudo fazem efetivamente referência a esta normativa europeia; deste modo, o cumprimento do requisito fica à partida garantido sem intervenção e sem custos acrescidos para o “executante de estruturas”.

F PGC 07-02-09 rev. 1

Cliente / Customer:

APARTADO, 40  
99249E FATIMA (PORTUGAL)

Fecha / Date: 21/08/2013    N° Albarán / Delivery Note: 1390569

COMPañIA ESPAÑOLA DE LAMINACION, S.L.  
 OFICINAS: c/Ferralla, 12 Pol.Ind. "SAN VICENTE"  
 08755 Castellbisbal (BARCELONA)  
 NIF: B-59/559351 Sociedad Unipersonal  
 Teléfono: +34 93 773 04 00 - Fax: +34 93 772 02 76  
 Calidad: +34 93 817 66 84 - Fax: +34 93 773 05 52

**CERTIFICADO DE INSPECTION CE**

(*) Producto / Product	Norma Medidas Sizes Standard	Norma Tolerancias Tolerances Standard	Long. (mm) Length (mm)	N° Colada: Heat Nr.
<input checked="" type="checkbox"/> IPE 450 S275JR +AR UNE-EN 10025-2:2006	UNE 36526	UNE-EN 10034	10100	2132861
<input checked="" type="checkbox"/> IPE 450 S275JR +AR UNE-EN 10025-2:2006	UNE 36526	UNE-EN 10034	10100	2132862

**CERTIFICADO DE INSPEÇÃO EN 10.204:2004, Tipo 3.1.**

Norma/Standard: EN 10025-1.2/2004    Cliente/Customer:  
 Tipo: S 275 JR +AR    LG ESTRADA DE MI:  
 N. Tol.: EN 10034/93    2496-000 FATIMA  
 N/Ref: 01998990  
 (B23-31B01)

a)

b)

A02 EN 10204/3.1 <b>CERTIFICADO DE CALIDAD - QUALITY CERTIFICATE</b>													
<b>S 275 JR+M - EN 10025-2/2004 SUITABLE FOR GALVANIZING</b>													
Tolerancias dimensionales y de forma : <b>Tolerances on shape and dimensions : EN 10.034</b>													
C70:E MATERIAL SIZE	COLADA HEAT	COMPOSICION QUIMICA (%) CHEMICAL COMPOSITION (%)											
		C	Mn	Si	P	S	N	V	Cr	Cu	Ni	Mo	
B11	B08	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78				
IDE 150	128500	00	01	10	020	002	000	001	150	120	120	000	

c)

Figura 2.19 Excertos de certificados de qualidade com referência à norma EN10034

Com o objetivo de avaliar o cumprimento efetivo desta norma, foram realizadas medições de forma totalmente aleatória a secções do tipo IPE e HE utilizados na fabricação de estruturas. Salienta-se que todos os instrumentos de medição utilizados na realização do ensaio estavam devidamente calibrados e evidenciavam o estado dessa mesma calibração; com o auxílio de esquadros, fita métrica e paquímetro, vinte e cinco secções foram analisadas e os resultados obtidos provam que efetivamente existem alguns desvios relativamente à norma acima referida.

Observando atentamente os resultados da tabela 2.6, verifica-se que os valores obtidos que não cumprem com as tolerâncias limites apresentam alguns desvios pouco significativos, sendo o critério da espessura da alma “ $t_w$ ” e a espessura dos banzos “ $t_f$ ”, aqueles que de todos mais problemas apresentam.

Tabela 2.6 - Verificação da conformidade segundo a norma de tolerância EN 10034

Nº	PERFIL	PERFIS I ou H																									
		ALTURA				LARGURA				ALMA				BANZO				ESQUADRIA				CENTRAGEM DA ALMA (t<40 mm)					
		h	Tol perm.	h real	Check	b	Tol perm.	b real	Check	tw	Tol perm.	tw real	Check	tf	Tol perm.	tf real	Check	b	k+k' Tol. Perm.	k+k' real	Check	b	Tol. Max.	b1 real	b2 real	(b1-b2)/2	Check
1	IPE 240	240	244 238	239,0	OK	120	124 118	123,9	OK	6,2	6,9 5,5	7,0	KO	9,8	11,8 8,8	9,4	OK	120	2,4	1,0	OK	120	3,5	56,0	57,0	0,5	OK
2	IPE 300	300	304 298	297,0	KO	150	154 148	150,0	OK	7,1	8,1 6,1	7,5	OK	10,7	13,2 9,2	10,5	OK	150	3	2,0	OK	150	3,5	71,5	70,5	0,5	OK
3	he 200 b	200	204 198	200,0	OK	200	204 198	200,0	OK	9	10 8	9,0	OK	15	17,5 13,5	15,0	OK	200	4	3,0	OK	200	3,5	95,0	97,0	1	OK
4	he 320 a	310	314 308	313,0	OK	300	304 296	298,0	OK	9	10 8	11,0	KO	15,5	18 14	20,0	KO	300	6	1,0	OK	300	3,5	142,0	145,0	1,5	OK
5	ipe 450	450	455 447	452,0	OK	190	194 188	190,5	OK	9,4	10,4 8,4	9,5	OK	14,6	17,1 13,1	15,0	OK	190	3,8	2,0	OK	190	3,5	92,5	91,0	0,75	OK
6	ipe 120	120	123 118	121,0	OK	64	68 63	65,0	OK	4,4	5,1 3,7	4,5	OK	6,3	7,8 5,8	6,5	OK	64	1,5	1,0	OK	64	2,5	31,5	31,0	0,25	OK
7	ipe 220	220	224 218	224,0	OK	110	114 109	110,0	OK	5,9	6,6 5,2	6,0	OK	9,2	11,2 8,2	8,5	OK	110	1,5	2,0	KO	110	2,5	53,0	55,0	1	OK
8	he 360 a	350	354 348	351,0	OK	300	304 296	295,0	KO	10	11,5 8,5	13,0	KO	17,5	20 16	17,0	OK	300	6	3,0	OK	300	3,5	142,0	143,0	0,5	OK
9	he 500 a	490	495 487	494,0	OK	300	304 296	297,0	OK	12	13,5 10,5	14,0	KO	23	25,5 21	22,0	OK	300	6	3,0	OK	300	3,5	142,0	142,0	0	OK
10	he 500 a	490	495 487	492,0	OK	300	304 296	297,0	OK	12	13,5 10,5	13,0	OK	23	25,5 21	23,0	OK	300	6	2,0	OK	300	3,5	141,0	142,0	0,5	OK
11	he 450 a	440	445 437	442,0	OK	300	304 296	297,0	OK	11,5	13 10	13,0	OK	21	23,5 19	20,0	OK	300	6	3,0	OK	300	3,5	143,0	142,0	0,5	OK
12	he 450 a	440	445 437	443,0	OK	300	304 296	296,0	OK	11,5	13 10	13,0	OK	21	23,5 19	21,0	OK	300	6	4,0	OK	300	3,5	141,0	143,0	1	OK
13	he 300 a	290	294 288	293,0	OK	300	304 296	298,0	OK	8,5	9,5 7,5	11,0	KO	14	16,5 12,5	12,0	KO	300	6	2,0	OK	300	3,5	146,0	140,0	3	OK
14	he 450 a	440	445 437	442,0	OK	300	304 296	296,0	OK	11,5	13 10	14,0	KO	21	23,5 19	22,0	OK	300	6	2,0	OK	300	3,5	144,0	141,0	1,5	OK
15	he 360 a	350	354 348	332,0	KO	300	304 296	296,0	OK	10	11,5 8,5	11,0	OK	17,5	20 16	16,0	OK	300	6	2,0	OK	300	3,5	143,0	142,0	0,5	OK
16	he 360 a	350	354 348	331,0	KO	300	304 296	295,0	KO	10	11,5 8,5	11,0	OK	17,5	20 16	16,0	OK	300	6	1,0	OK	300	3,5	144,0	142,0	1	OK
17	ipe 400	400	404 398	398,0	OK	180	184 178	181,0	OK	8,6	9,6 7,6	7,0	KO	13,5	16 12	11,0	KO	180	3,6	1,0	OK	180	3,5	86,0	88,0	1	OK
18	he 700 a	690	695 687	690,0	OK	300	304 296	295,0	KO	14,5	16 13	15,0	OK	27	29,5 25	25,0	OK	300	6	4,0	OK	300	3,5	143,0	142,0	0,5	OK
19	he 450 a	440	445 437	442,0	OK	300	304 296	296,0	OK	11,5	13 10	13,0	OK	21	23,5 19	19,0	OK	300	6	3,0	OK	300	3,5	141,0	143,0	1	OK
20	he 450 a	440	445 437	443,0	OK	300	304 296	296,0	OK	11,5	13 10	12,0	OK	21	23,5 19	20,0	OK	300	6	2,0	OK	300	3,5	141,0	143,0	1	OK
21	he 450 a	440	445 437	441,0	OK	300	304 296	297,0	OK	11,5	13 10	12,0	OK	21	23,5 19	19,0	OK	300	6	2,0	OK	300	3,5	144,0	142,0	1	OK
22	he 700 a	690	695 687	690,0	OK	300	304 296	298,0	OK	14,5	16 13	16,0	OK	27	29,5 25	28,0	OK	300	6	4,0	OK	300	3,5	143,0	143,0	0	OK
23	he 400 a	390	394 388	393,0	OK	300	304 296	298,0	OK	11	12,5 9,5	11,0	OK	19	21,5 17,5	19,0	OK	300	6	3,0	OK	300	3,5	147,0	144,0	1,5	OK
24	he 300 a	290	294 288	292,0	OK	300	304 296	300,0	OK	8,5	9,5 7,5	9,0	OK	14	16,5 12,5	11,0	KO	300	6	2,0	OK	300	3,5	144,0	146,0	1	OK
25	ipe 360	360	364 358	362,0	OK	170	174 168	171,0	OK	8	9 7	9,0	OK	12,7	15,2 11,2	12,0	OK	170	3,4	4,0	KO	170	3,5	81,0	82,0	0,5	OK
MARGEM ERRO :				12,0				12,0				28,0				16,0				8,0						0,0	
				%				%				%				%				%						%	

Na tabela anterior não consta a verificação das tolerâncias relativamente às curvaturas definidas em função dos desvios “q<sub>xx</sub>” e “q<sub>yy</sub>” ilustrados na figura 2.20. Estas imperfeições são normalmente assumidas e tratadas internamente dentro da metalomecânica.

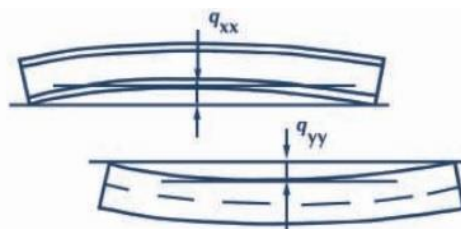


Figura 2.20 - Imagem retirada da norma EN10034

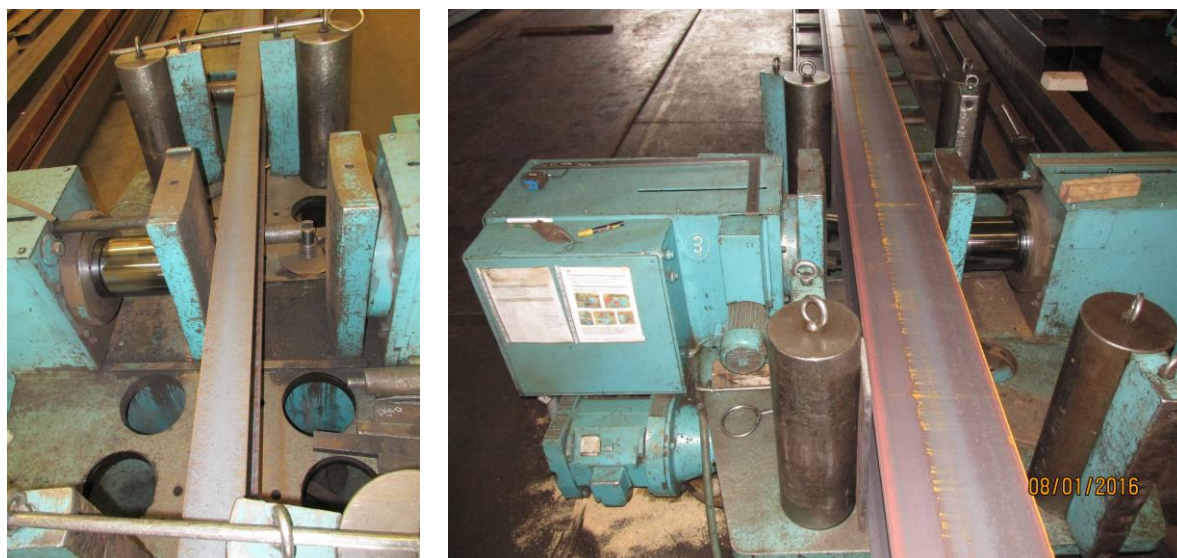
Este tipo de curvaturas são vulgares, recorrentes e muitas vezes amplificadas pelo mau acondicionamento durante o transporte do material até chegar à fábrica. Embora em geral se apresentem dentro dos limites definidos pela norma exigem sempre um tratamento interno de desempenamento total e eficaz.

Nas figuras 2.21 são ilustrados alguns perfis com alguma curvatura; estes apresentam flechas dentro dos limites permitidos mas que necessitam de correção e de tratamento sob pena de vir a criar grandes constrangimentos no processo produtivo. Assim sendo, toda e qualquer curvatura inicial existente é normalmente retirada fazendo com que todos os perfis fiquem totalmente retilíneos antes de serem utilizados. Salienta-se ainda que as curvaturas iniciais do tipo “ $q_{xx}$ ” são as mais difíceis de corrigir dado que se tenta mobilizar o perfil no sentido da sua maior inercia (ver figura 2.21 b); sendo que os casos mais graves impossibilitam por vezes o tratamento corretivo interno e obrigam a pedidos de devolução e troca ao fornecedor.



a) b)  
Figura 2.21 – Perfis com curvatura inicial acentuada

Nas figuras 2.22 pode-se visualizar um dos métodos mais comuns e mais utilizados para retirar estas deformações iniciais; imediatamente após a chegada do material à fábrica e através do auxílio de “prensas de rolos” o operador do equipamento efetua sem grande dificuldade o desempenho do material; Trata-se de um processo rápido e que facilita significativamente a manipulação e a fabricação do produto final.



a)

b)

Figura 2.22- Prensa de rolos a desempenar na direção “ $q_{yy}$ ” alguns perfis metálicos tipo IPE

Na reta final do processo de produção e com o objetivo claro de reduzir as curvaturas provocadas pela contração do material provocadas pela soldadura, é usual voltar a aplicar novamente o procedimento anterior. Na figura 2.23 pode-se observar, para exemplificação, um pilar de secção HEA700 reforçado com chapas laterais, com aproximadamente 14 m, a ser convenientemente desempenado antes de avançar para o tratamento de superfície.



Figura 2.23 – Prensa de rolos a desempenar uma peça após ser montada em fábrica e devidamente soldada

### 2.2.5 Estados de superfície

O conceito “estado de superfície” trata essencialmente da qualidade superficial do aço e das eventuais imperfeições ou defeitos que poderão apresentar. Estas anomalias poderão resultar da constituição do material, da operação de laminagem ou até mesmo pela sujeição a más e adversas condições de armazenamento durante o seu percurso (do produtor até ser transformado); quando são detetadas deverão ser inspecionadas e mediante avaliação poderão ou não passar a serem classificadas como defeito.

A norma NP EN1090-2 (IPQ, 2015) trata este tema na cláusula 5.3.3 e especifica que as exigências da BS EN 10163-1 (CEN, 2004) [Delivery requirements for surface condition of hot-rolled steel plates, wide flats and sections] deverão ser cumpridas quer em chapas quer em perfis; contudo não especifica concretamente quem tem a responsabilidade de o assegurar.

Da pesquisa realizada em dezenas de certificados de qualidade e contrariamente aquilo que muitas vezes é publicitado em catálogos técnico-comerciais (tal como ilustrado na figura 2.24) nenhuma referência a esta norma foi encontrada nos certificados de qualidade do produto que emitem.

Esta falta de controlo a montante da aquisição torna-se evidente sempre que nos deparamos com lotes defeituosos à entrada da linha de produção. Esta situação é uma realidade e obriga o fabricante de estruturas a executar esse controlo e a assumir essa responsabilidade perante o cliente final, criando no seu plano de controlo um fluxograma semelhante aquele que se pode observar na figura 2.25.

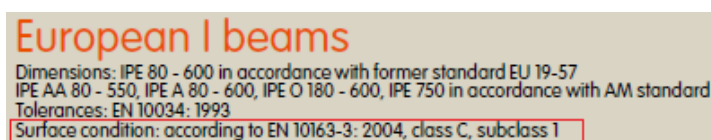


Figura 2.24 - Exemplo de publicidade em catálogo de um fabricante de aço onde se descreve o estado de superfície para perfis longos

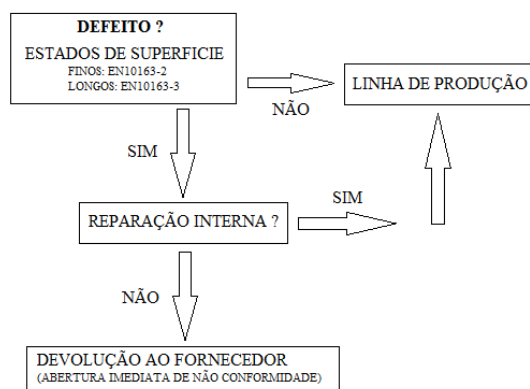


Figura 2.25 - Exemplo de um fluxograma para controlo do “Estado de superfície”



Como se pode constatar no fluxograma apresentado na figura anterior, um estado de superfície em perfeitas condições permite avançar sem contratempos para o processo de fabricação, sem devoluções ao fornecedor e sem necessidade de reparação, além de que elimina qualquer probabilidade de ocorrência de durezas excessivas perante uma potencial soldadura de reparação. Se por um lado a reparação do material defeituoso, o aproveitamento e a reutilização é uma atitude responsável e sustentável por parte do executante de estruturas, por outro, cria uma série de constrangimentos internos que têm sempre grandes custos associados e que não podem ser absorvidos nem diluídos no orçamento.

Quando existe a necessidade de reparação, o momento certo para a intervenção é após a decapagem; a limpeza e o brilho da superfície decapada fornece a base de trabalho ideal para fazer a leitura mais pormenorizada da imperfeição e encontrar a melhor abordagem corretiva. As figuras 2.26 e 2.27 mostram um exemplo de uma reparação no banzo de um perfil do tipo IPE; neste caso a existência de variadas imperfeições conhecidas por “escamas” obrigou a uma reparação localizada de cada uma delas e a um consequente desbaste generalizado ao longo da superfície metálica com o auxílio de uma rebarbadora com um disco abrasivo de lamelas.

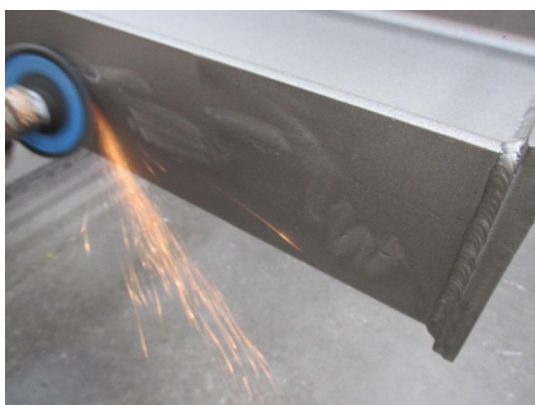


Figura 2.26 - Rebarbagem e retificação de superfície com defeitos



Figura 2.27 - Aspetto final do banzo da viga após retificação

Atualmente, a norma BS EN 10163 possui ferramentas eficazes de controlo que permitem conhecer os limites para a aceitabilidade deste tipo de imperfeições. A análise deverá ser efetuada de acordo com a norma BS EN 10163-2 (CEN, 2004) [Part 2: Plate and wide flats] para perfis “finos” (p.e. chapas) e de acordo com a BS EN 10163-3 (CEN, 2004) [Part 3: Sections] para perfis “longos” (p.e. vigas). A classe A2 deve ser utilizada para o controlo dos perfis finos e a classe C1 deve ser tida em conta para controlar os perfis longos.

Reconhece-se então que patologias do tipo “covas e crateras”, “escamas”, “estrias e ranhuras”, “costuras”, “riscos”, etc. surgem com alguma frequência na superfície do aço rececionado em fábrica.

Esta situação corrobora a já referida falta de controlo na origem e obriga a um cuidado acrescido por forma a salvaguardar o bom estado superficial das superfícies metálicas. Por forma a concluir este tema, confirma-se que a grande maioria do material recebido para transformação apresenta um bom estado superficial, não apresentando portanto quaisquer defeitos após a realização da inspeção visual obrigatória. Os lotes defeituosos que por vezes surgem representam uma minoria pouco significativa e são normalmente tratados como uma não conformidade perante o processo de qualidade. As figuras 2.28 a 2.30 mostram alguns dos exemplos de imperfeições e defeitos mais comuns que são normalmente encontrados em fábrica.

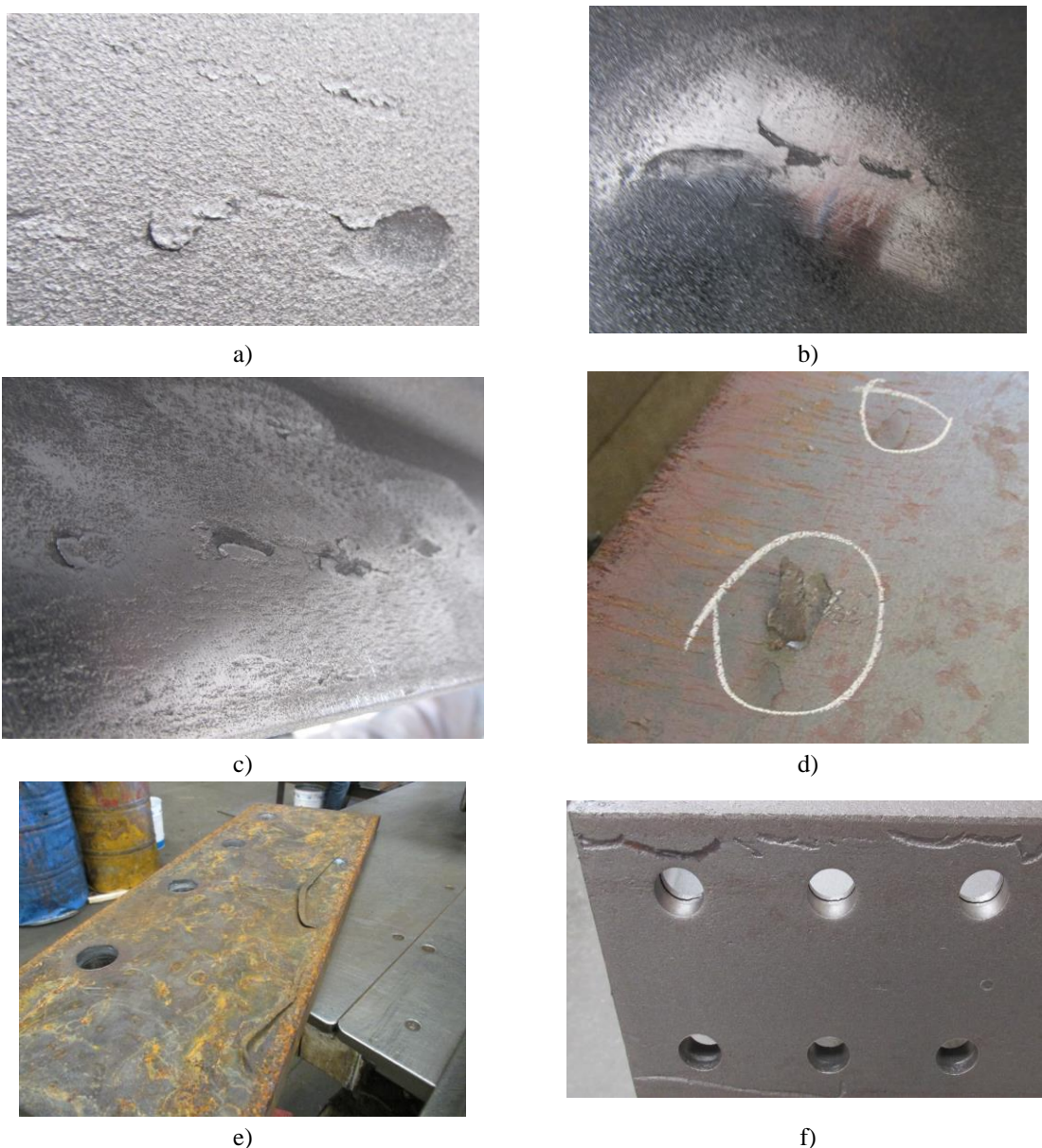


Figura 2.28 – Exemplo de “Escamas”



Figura 2.29 – Exemplo de “covas e crateras”



Figura 2.30 - Outras discontinuidades da laminagem (costuras, riscos, danos e marcas transversais provocadas pela passagem dos rolos, etc...)

### 2.2.6 Graus de preparação

O comportamento e durabilidade de qualquer revestimento de pintura são significativamente afetados pela preparação da superfície executada. As estruturas de aço e a elevada suscetibilidade que apresentam à corrosão obriga a adotar uma preparação de superfície adequada e um esquema de proteção que as defenda e as preserve durante a vida útil prevista.

A NP EN 1090-2 (IPQ, 2015) por forma a salvaguardar esta situação direciona para a norma EN ISO 8501-3 (CEN, 2007) [Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 3: Preparation grades of welds, edges and other areas with surface imperfections] a definição das classes de preparação das soldaduras, cantos e outras zonas com imperfeições de superfície.

As imperfeições potencialmente visíveis após a decapagem e imediatamente antes da pintura ficam definidas através de três graus de preparação designadas de P1 a P3, cujos requisitos aumentam de rigor consecutivamente e que podem ser aplicados a toda a estrutura, a partes ou a pormenores específicos da obra.

O grau P1 é o mais aligeirado de todos e exige o mínimo de preparação antes da aplicação da tinta; o grau P2 é mais trabalhoso mas garante que a maioria das imperfeições ficam corrigidas; por sua vez o grau P3 é uma preparação muito minuciosa e salvaguarda que a superfície fica livre de imperfeições significativas visíveis.

A figura 2.31 foi compilada da EN ISO 8501-3 e resume alguns dos pontos mais sensíveis e que mais influenciam a boa aderência do esquema de pintura e o sucesso da proteção. Após a decapagem deve-se examinar a superfície do aço e executar uma inspeção visual na busca de imperfeições/ defeitos e alterações da superfície provocadas pelo processo de fabrico e também pelo processo de soldadura (ver figura 2.32).

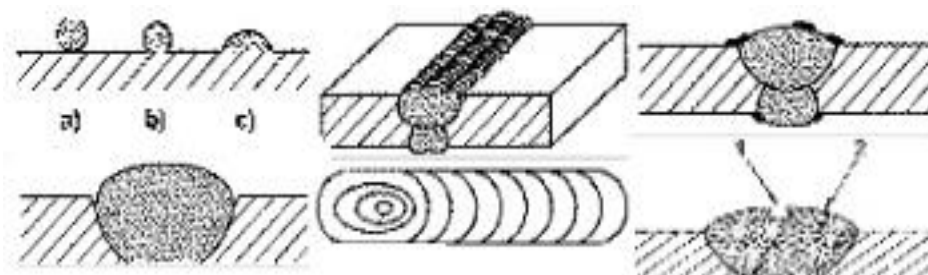


Figura 2.31– Ilustrações retiradas da BS EN ISO 8501-3



Figura 2.32 - Aspeto de peça após decapagem, momento ideal para verificar as imperfeições do material base e cordões de soldadura

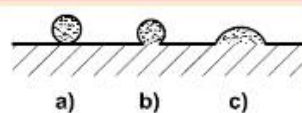
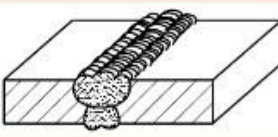

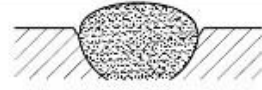
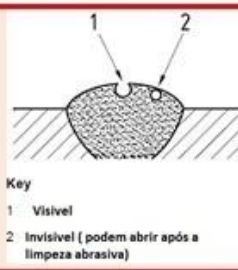

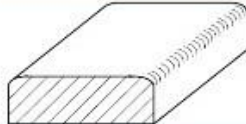
Certas imperfeições introduzidas no processo de laminagem e durante todo o processo de transformação podem não ser prejudiciais para o bom desempenho de um revestimento em serviço de estruturas inseridas em categorias de risco ambiental relativamente baixa; no entanto, dependendo dos requisitos específicos da estrutura e perante uma corrosividade ambiental mais exigente, pode ser necessário remover imperfeições de superfície sobre o material base, sobre as soldaduras e sobre as arestas vivas por forma a produzir uma condição de superfície aceitável para a pintura.

As soldaduras representam uma parte relativamente pequena da estrutura mas de grande importância. As juntas soldadas são zonas sensíveis e altamente suscetíveis ao aparecimento de corrosão; podem apresentar um perfil variável, superfícies irregulares e prejudicar a boa aderência provocando a quebra do revestimento.

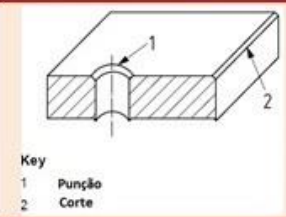
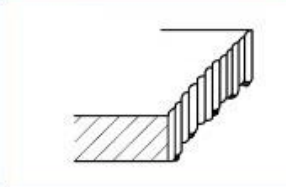
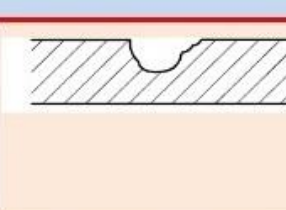
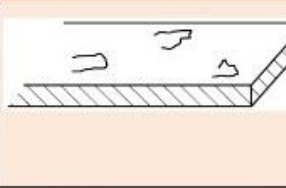
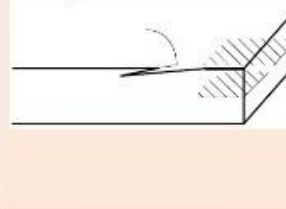
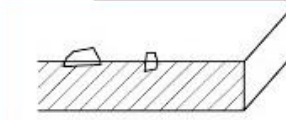

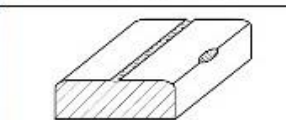
Os graus de preparação P1 e P2 são normalmente os mais utilizados e os mais encontrados nas estruturas observadas um pouco por todo o país.

Relativamente estes 2 níveis de qualidade constata-se que a grande maioria das exigências previstas pela EN ISO 8501-3 são cumpridas quase sem esforço e sem alterar a rotina normal existente antes da implementação da norma NP EN 1090-2; ainda assim, verifica-se que existem alguns casos mais controversos que suscitam algumas questões e que podem não estar a ser assegurados dado que exigem um considerável e significativo esforço acrescido.

Na figura 2.33 apresenta-se uma adaptação da tabela “imperfeições e graus de preparação” que se encontra na EN ISO 8501-3. Nas tabelas apresentadas encontram-se realçados (com delimitação a vermelho) alguns dos pontos mais sensíveis e mais controversos, os restantes pontos da tabela irão ser abordados com mais profundidade mais à frente no decorrer respetivos capítulos, nomeadamente os que estão relacionados com imperfeições da soldadura.

Adaptação da ISO 8501-3:2006 : Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness					
Part 3 : Preparation grades of welds, edges and other areas with surface imperfections					
Tipo de imperfeição		Grau de preparação			
Descrição	Ilustração	P1	P2	P3	
<b>1 SOLDADURAS</b>					
1.1	<b>SALPICOS DE SOLDADURA</b>		A superfície deve estar isenta de salpicos perdidos [ver a)]	A superfície deve estar isenta de salpicos perdidos e ligeiramente aderentes [ver a) e b)]	A superfície deve estar isenta de qualquer tipo de salpicos
1.2	<b>ONDULAÇÃO/PERFIL DO CORDÃO DE SOLDADURA</b>		Sem preparação	A superfície deve ser afagada (p.e. através de rebarbagem) para remover bordas de perfil afiado e irregular	A superfície deve estar totalmente afagada, i.e. suave
1.3	<b>ESCÓRIA DO CORDÃO DE SOLDADURA</b>		A superfície deve estar isenta de escória	A superfície deve estar isenta de escória	A superfície deve estar isenta de escória
1.4	<b>BORDOS ROÍDOS</b>		Sem preparação	A superfície deve estar isenta de bordos roídos afiados ou profundos	A superfície deve estar isenta de bordos roídos
1.5	<b>POROSIDADE NO CORDÃO DE SOLDADURA</b>	 Key 1 Visível 2 Invisível (podem abrir após a limpeza abrasiva)	Sem preparação	Os poros superficiais devem ser suficientemente abertos para permitir a penetração da tinta ou o seu tratamento	A superfície deve estar isenta de poros
1.6	<b>RECHUPES DE CRATERA</b>		Sem preparação	Os rechupes de cratera devem estar isentos de bordos afiados	A superfície deve estar isenta de Rechupes de cratera
<b>2 BORDAS</b>					
2.1	<b>BORDAS BOLEADAS</b>		Sem preparação	Sem preparação	Os bordos devem ser arredondados com um raio não inferior a 2mm (ver ISO 12944-3)

a) 1ª Parte

2.2	<b>BORDAS PRODUZIDAS POR PUNÇÃO, CORTE, BROCAGEM</b>	 <p>Key 1 Punção 2 Corte</p>	Nenhum bordo deve ser afiado; o bordo deve estar isento de rebarbas	Nenhum bordo deve ser afiado; o bordo deve estar isento de rebarbas	Os bordos devem ser arredondados com um raio não inferior a 2mm (ver ISO 12944-3)
2.3	<b>BORDOS PRODUZIDOS ATRAVÉS DE CORTE TÉRMICO</b>		A superfície deve estar isenta de escória e rebarbas	Nenhum bordo deve possuir um perfil irregular.	A face cortada deve ser removida e os bordos devem ser arredondados com um raio não inferior a 2 mm (ver ISO 12944-3)
<b>3 SUPERFÍCIES GERAIS</b>					
3.1	<b>COVAS E CRATERAS</b>		As covas e as crateras devem estar suficientemente abertas para permitir a entrada da tinta	As covas e as crateras devem estar suficientemente abertas para permitir a entrada da tinta	A superfície deve estar isenta de covas e crateras
3.2	<b>ESCAMAS</b> <i>NOTA : Os termos "Slivers e "hackles" são também muito usados para descrever este tipo de imperfeição</i>		A superfície deve estar isenta de material levantado.	A superfície deve estar isenta de material descascado	A superfície deve estar isenta de material descascado
3.3	<b>CORTES DE LAMINAÇÃO</b>		A superfície deve estar isenta de material levantado.	A superfície deve estar isenta de laminações visíveis	A superfície deve estar isenta de laminações visíveis
3.4	<b>INCLUSÕES DE PARTICULAS DE MATERIAIS ESTRANHOS</b>		A superfície deve estar isenta de partículas de materiais estranhos	A superfície deve estar isenta de partículas de materiais estranhos	A superfície deve estar isenta de partículas de materiais estranhos
3.5	<b>ESTRIAS E RANHURAS PROVOCADAS POR ACÇÃO MECANICA</b>		Sem preparação	O raio das estrias e das ranhuras deve ser não inferior a 2 mm	A superfície deve estar isenta de estrias e as ranhuras devem ser superiores a 4mm
3.6	<b>ENTALHES E MARCAS DE ROLO</b>		Sem preparação	Os entalhes e as marcas de rolo devem ser suaves	A superfície deve estar isenta de entalhes e marcas de rolo

b) 2ª Parte

Figura 2.33 - Tabela “imperfeições e graus de preparação” adaptada da ISO 8501-3



### i. Salpicos de soldadura

Em relação a esta imperfeição é importante salientar que os salpicos do tipo a) e b) saem efetivamente de forma relativamente fácil se a decapagem mecânica preceder a etapa da soldadura; caso contrário, muito dificilmente se conseguirá um acabamento isento de salpicos.

### ii. Ondulação / Perfil do cordão de soldadura

A superfície do cordão de soldadura apenas sofre afagamento adicional quando existem instruções do projeto de soldadura nesse sentido. As indicações para se executar um perfil nivelado de acabamento não é usual e portanto quase nunca é utilizado (ver figura 2.34).

O perfil e o relevo obtido após a soldadura é normalmente em forma convexa (ver figura 2.35), este acabamento será apenas melhorado pela eventual passagem na decapagem mecânica que para além de lhe retirar a escória remanescente dará simultaneamente um desbaste de uniformização ótimo para lhe retirar algumas bordas afiadas.

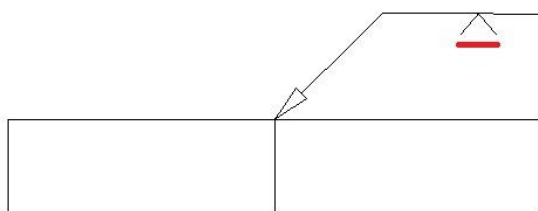


Figura 2.34 – Situação pouco usual:  
Simbologia de soldadura indicativa de chanfro em V e com nivelamento do cordão

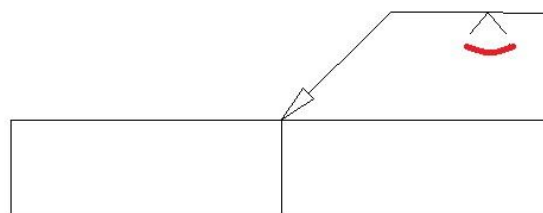


Figura 2.35 – Situação usual: Simbologia de soldadura indicativa de chanfro em V e com o acabamento convexo do cordão

### iii. Porosidade no cordão de soldadura

Confrontando a vertente estrutural com a vertente que suporta a durabilidade à corrosão em serviço, rapidamente se apercebe que a aplicabilidade deste requisito é contraditória e algo controversa. Do ponto de vista da durabilidade à corrosão, entende-se perfeitamente que os poros de grande dimensão são preferíveis aos de pequena dimensão porque facilitam o acesso da tinta ao seu interior e promovem uma melhor proteção interna do orifício; sob o ponto de vista estrutural, os “Critérios de aceitação de defeitos em juntas soldadas” que estão presentes no ponto 7.6 da NP EN1090-2 são claros e definem que apenas os de reduzida dimensão podem subsistir e prevalecer na junta soldada.

Assim sendo e em presença de grau de preparação P2 (situação mais usual) e perante a existência de poros com dimensão grosseira, deve-se assumir que o plano estrutural se sobrepõe e que eles deverão ser tratados como defeitos graves da junta soldada; são assumidamente pontos críticos que potenciam a propagação da falha em serviço e a consequente rotura, portanto, a preocupação deve-se prender sempre com a sua retificação imediata, desprezando totalmente a avaliação da dimensão mínima suficiente para que a tinta possa penetrar de forma eficaz no interior.

#### iv. Bordas produzidas por punção, corte ou brocagem

Este ponto engloba a retificação das arestas originadas pelo processo de corte e de furação; trata-se de uma obrigatoriedade para qualquer grau de preparação e é essencial para que se dê o assentamento e a penetração adequada da tinta.

Na prática verifica-se que estes preceitos podem apenas funcionar de forma parcial, ou seja, as faces e as arestas provenientes do corte são efetivamente suavizadas e retificadas (ver capítulo 4.1.1) enquanto que as arestas das furações nem sempre evidenciam esse tratamento.

A figura 2.36 apresenta um exemplo onde não se executou o desgaste da aresta da furação executada através de punção. Por outro lado a figura 2.37 apresenta o tratamento adequado das arestas de uma peça, quer das arestas lineares quer das curvas.

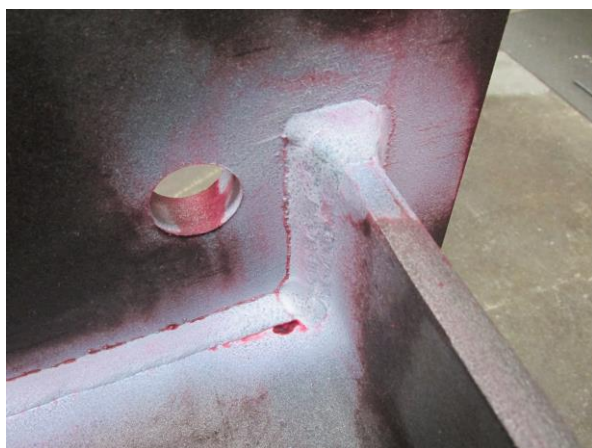


Figura 2.36 – Pormenor não adequado



Figura 2.37 – Pormenor adequado

#### v. Covas e crateras

As covas e as crateras são um tipo de patologias (já mencionadas no capítulo 2.2.5 - “estados de superfície”) que surgem com alguma frequência. As suas profundidades devem ser sempre verificadas e comparadas com a norma BS EN 10163 (CEN, 2004) imediatamente após a receção do material; caso se tratem de imperfeições (com profundidades dentro dos limites definidos na norma) a peça deverá seguir o normal processo de fabrico.

Na secção de tratamento de superfície, a indústria mostra-se pró-ativa neste ponto e vai um pouco mais à frente relativamente ao especificado na norma. O aspeto visual e o acabamento superficial da estrutura são muito importantes para o cliente final; desta forma, recorre-se por vezes a tratamentos de retificação e de enchimento (ver figura 2.38) antes de se aplicar o esquema de pintura; este procedimento nem sempre é suficiente para conseguir reparar a imperfeição na totalidade mas é preferível à colocação direta da tinta sobre as covas e crateras da superfície do aço.



Figura 2.38 - Enchimento para reparação de covas e crateras superficiais

**vi. Escamas**

Por imposição normativa, a superfície do aço deve ser sempre inspecionada a montante da preparação da superfície e quaisquer escamas levantadas devem ser removidas por rebarbagem ou lixamento antes da aplicação de qualquer sistema de pintura.

Normalmente estas patologias são sempre retiradas e retificadas antes da aplicação do esquema de pintura (ver figuras 2.25 e 2.26 do capítulo anterior), mas excepcionalmente podem ser encontradas algumas escamas de pequena dimensão que passam na inspeção visual habitualmente executada. No caso das figuras 2.39 a deteção surgiu imediatamente após a aplicação do esquema de pintura; nestas situações deve-se apenas reparar através de rebarbagem com disco de lamelas e voltar a aplicar o esquema de pintura.

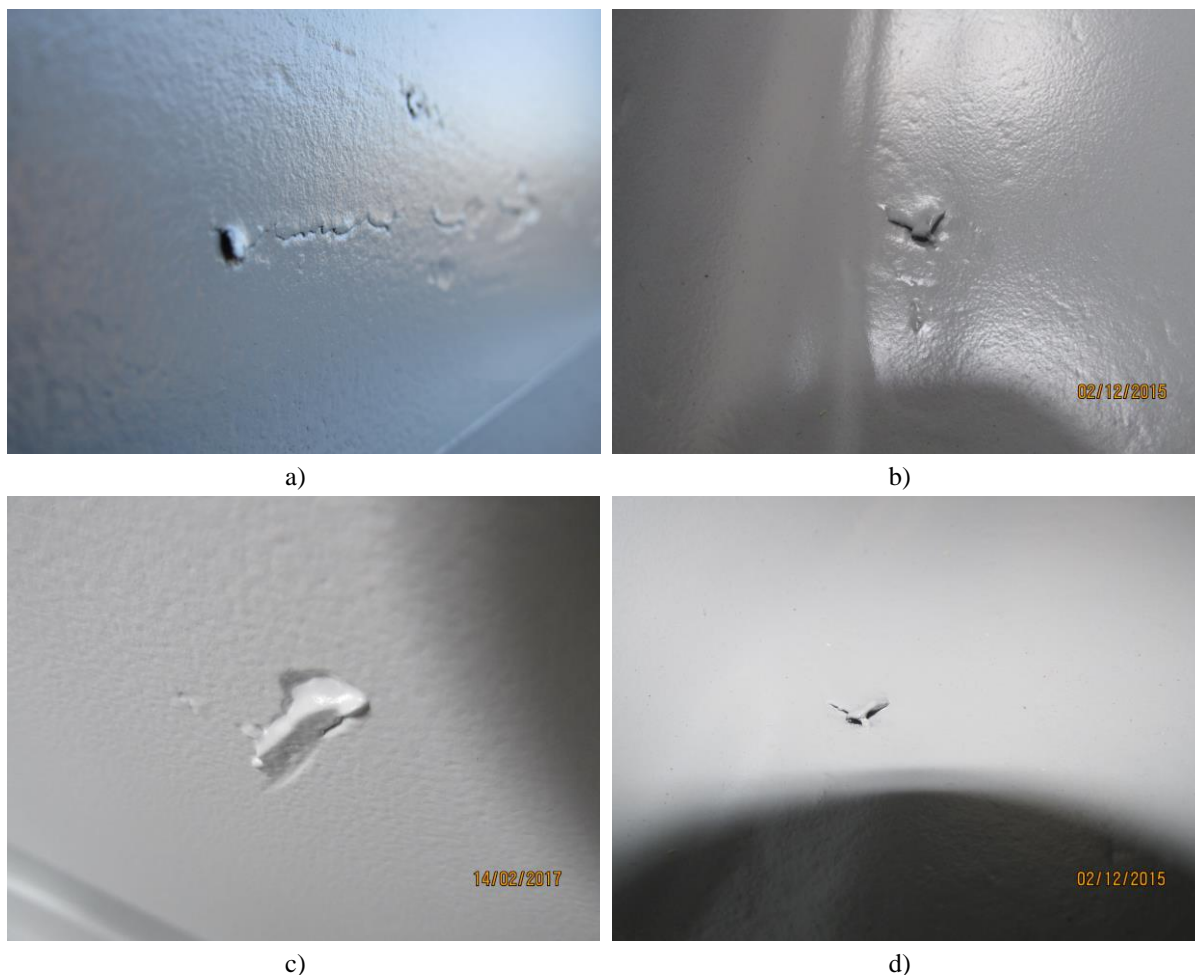


Figura 2.39- Exemplo de “escamas” levantadas

### 2.2.7 Tratamento de superfície

O capítulo 10 da norma NP EN 1090-2 (IPQ, 2015) trata o tema “tratamento de superfície“, o tratamento superficial das estruturas é a ultima fase da fabricação e revela-se da maior importância para garantir o período de vida útil previsto das estruturas. A ISO 12944 (CEN, 1998) surge como norma de referência no caso de superfícies que se destinam a serem pintadas e é composta por 8 partes, sendo a parte 2 uma das mais importantes dado que trata a classificação de ambientes.

O cumprimento dos “Graus de Preparação” (P1, P2 e P3) referidos no ponto 2.2.6 apenas faz sentido se outros conceitos de igual importância forem igualmente garantidos em paralelo, nomeadamente a “Classe da Durabilidade” (Baixo, Médio e Alto) e as “Categorias de Corrosividade” (C1,C2 e C3, C4 e C5). A figura 2.40, constante da NP-EN1090-2, serve para determinar a durabilidade da proteção anticorrosiva em função da conjugação da categoria de corrosividade (corrosão atmosférica) e do grau de preparação; a figura 2.41 foi retirada de um trabalho designado por “Proteção de estruturas” e foi elaborado por Elsa Vaz Pereira (LNEC, 2016); permite verificar a distribuição de categorias de corrosividade em função das diferentes zonas geográficas que definem Portugal Continental.

E) Quadro 22 – Grau de preparação

Período de vida útil previsto da proteção anti-corrosão <sup>a)</sup>	Categoria de corrosividade <sup>b)</sup>	Grau de preparação
>15 anos	C1	P1
	C2 a C3	P2
	Acima de C3	P2 ou P3 conforme especificado
Entre 5 e 15 anos	C1 a C3	P1
	Acima de C3	P2
<5 anos	C1 a C4	P1
	C5 - Im	P2

a) O período de vida útil previsto da proteção anti-corrosão e a categoria de corrosividade são referenciados nas EN ISO 12944 e EN ISO 14713-1, consoante o caso.

### Classificação das atmosferas segundo a ISO 9223



Figura 2.40 - Cálculo do período de vida útil da proteção anticorrosiva

Figura 2.41 – Classificação de atmosferas segundo a BS EN ISO 9223 (CEN, 2012)

Contrariamente aquilo que era habitual, nos últimos anos tem-se constatado que estes conceitos têm surgido mais frequentemente logo na fase de orçamentação e de negociação dos trabalhos. Esta inversão é um ótimo indicador que este tema é uma preocupação cada vez maior quer para a equipa projetista quer para o cliente, uma necessidade que está intimamente relacionada com a durabilidade do tratamento anticorrosivo e do seu inerente programa de manutenção. Salienta-se apenas que esta “durabilidade” serve acima de tudo para se definir um programa eficaz de manutenção e não deve ser confundido com o tempo de garantia da obra.

Entende-se que a grande maioria das metalomecânicas compreendeu desde cedo a importância desta operação e a sua influência na garantia de qualidade dos seus produtos; desta forma, criou oportunamente novas rotinas de controlo com planos de inspeção e ensaios personalizados e adaptados. Crê-se que dentro do contexto nacional (de uma forma geral), o investimento foi uma prioridade, quer ao nível material (com a aquisição de potentes equipamentos de decapagem, pintura e de controlo) quer ao nível humano (com a execução de formação específica e com a contratação de pessoal mais especializado).

Constata-se também que o apoio fornecido pelos fabricantes de tintas têm auxiliado significativamente a indústria neste ponto de crucial importância. Salienta-se a prontidão no esclarecimento de dúvidas e também no ótimo apoio aquando da elaboração de esquemas de pintura compatíveis com a durabilidade e o ambiente de corrosividade pretendido.

Normalmente os planos de inspeção e ensaio para o “tratamento de superfície” diferem de empresa para empresa, ainda assim, contemplam todos certamente os mesmos parâmetros e as mesmas verificações.

A figura 2.42 mostra um exemplo de uma decapagem automática a granalha de aço. Trata-se de um equipamento essencial para garantir uma limpeza uniforme de toda a superfície (não só do aço mas também das juntas soldadas). A decapagem irá efetuar uma limpeza superficial com o objetivo de remover da superfície, todos os materiais que possam impedir o contacto direto da tinta com o aço; simultaneamente é garantida uma ancoragem mecânica, proporcionando um aumento da rugosidade superficial garantindo um aumento da aderência entre camadas.

A figura 2.43 mostra uma cabine de pintura dotada de um sistema de secagem. Este equipamento promove o aquecimento do ar no seu interior facilitando a cura total da tinta num reduzido espaço de tempo; além disso, este sistema proporciona um excepcional ganho de tempo, impede que poeiras e ciscos presentes no ar assentem sobre a peça durante a secagem e garante que a tinta pulverizada durante o processo de pintura seja disperso no ambiente.



Figura 2.42 - Decapagem automática de granalha de aço



Figura 2.43 - Cabine de pintura com sistema de secagem

Na figura 2.44 apresenta-se um equipamento de controlo denominado por “Comparador de rugosidade” e destina-se a avaliar a qualidade da decapagem. O grau de qualidade SA 2<sup>1/2</sup> é o nível de qualidade que mais vezes surge especificado nos cadernos de encargos, sendo também aquele que efetivamente mais se verifica na realidade.

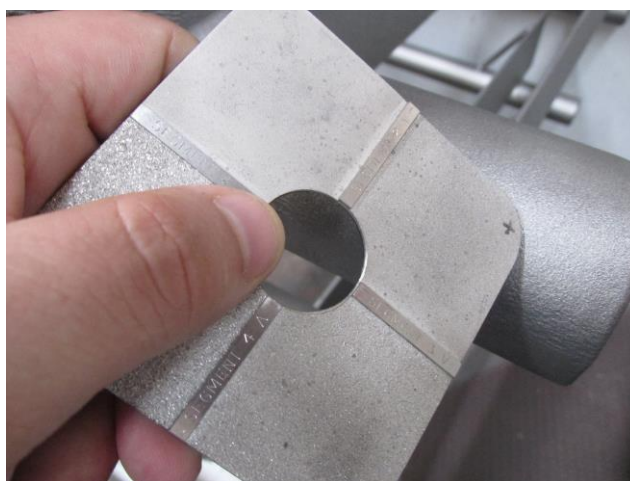


Figura 2.44 – Comparador de rugosidade

Na figura 2.45, apresenta-se um “medidor de espessuras húmidas, usualmente designado por “pente”. Trata-se de um equipamento muito utilizado para controlar a espessura da tinta imediatamente após a aplicação; é de grande utilidade para verificação de espessuras intermédias (entre camadas) e permite minimizar o desperdício de tinta.

Na figura 2.46 apresenta-se um medidor de espessura seca com as respetivas lamelas de calibração. Trata-se de um equipamento digital com necessidade de calibração sempre que existem mudanças ao nível das grandezas das espessuras pretendidas.



Figura 2.45 - Medidor de espessura húmida



Figura 2.46 - Medidor de espessura seca

Os registos do controlo da decapagem e da pintura fazem normalmente parte dos planos de inspeção e ensaios e devem ser elaborados para todas as obras com validação pelo responsável do sector; nas figuras 2.47 e 2.48 apresentam-se alguns exemplos do controlo que é realizado.

**FAMETAL** Controlo da Qualidade da Decapagem

Obra Nº: 4016 Designação da obra: PLASTICS

Decapagem ao Grau Sa 2 1/2 Grau de preparação:  P1  P2  P3

Peça	Grande de Decapagem	Qualidade do tratamento (4)	Confirme (5)	Data	Operador (6)
<u>382</u>	<input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<u>21.04.2017</u>	<u>David Klein</u>
<u>383</u>	<input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<u>21.04.2017</u>	<u>David Klein</u>
<u>512</u>	<input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<u>27.04.2017</u>	<u>David Klein</u>
<u>263</u>	<input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<u>27.04.2017</u>	<u>David Klein</u>
<u>516</u>	<input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<u>27.04.2017</u>	<u>David Klein</u>
<u>270</u>	<input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<u>28.04.2017</u>	<u>David Klein</u>

Figura 2.47 – Registos de controlo da qualidade da decapagem

**FAMETAL** Controlo de Qualidade de Pintura

Obra Nº 4010 Cliente VALCOBAÇA Local ALCOBAÇA - PONTES Classe de Execução:  EXC1  EXC2  EXC3

Formecedor das Tintas SIGMA

Primário (1)			Intermédio (1)			Acabamento (1)		
G. E.	Designação	Espessura µm	G. E.	Designação	Espessura µm	G. E.	Designação	Espessura µm
<u>3769</u>	<u>SIGMAZINC 105</u>	<u>80</u>	<u>1938</u>	<u>SIGMAFAST 210 HS</u>	<u>80</u>	<u>3784</u>	<u>SIGMAFAST 210 HS</u>	<u>120</u>

RAL: 7022

Peça (2)	Aplicação da tinta (4)			Inspeção e Ensaios de Pintura										Data	Operador (6)	
	Temp °C	Humid %	Espessura µm (5)	Inspeção Visual (3)			Esp. de película		Craters		Reparado (7)		Peça conforme			
Rep <u>300E</u>	<u>16.4</u>	<u>78.2</u>	<u>286</u>	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<u>05.05.2017</u>	<u>David Klein</u>
Rep <u>8.500</u>	<u>16.4</u>	<u>78.2</u>	<u>294</u>	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<u>05.05.2017</u>	<u>David Klein</u>
Rep <u>8.600</u>	<u>16.4</u>	<u>78.2</u>	<u>298</u>	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<u>05.05.2017</u>	<u>David Klein</u>
Rep <u>506E</u>	<u>16.4</u>	<u>78.2</u>	<u>291</u>	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<u>05.05.2017</u>	<u>David Klein</u>
Rep <u>8.601</u>	<u>16.4</u>	<u>78.2</u>	<u>293</u>	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	<u>05.05.2017</u>	<u>David Klein</u>

Figura 2.48 - Controlo da qualidade da pintura.



### 3. MANUSEAMENTO E ARMAZENAMENTO

#### 3.1. Produtos Longos

Diz o capítulo 6.3 da norma NP EN1090-2 (IPQ, 2015) que “*os produtos constituintes devem ser manuseados e armazenados em condições que estejam de acordo com as recomendações do fabricante; o transporte deve ser efetuado de forma segura de modo a que não ocorram deformações permanentes e que os danos superficiais sejam minimizados*”.

No dia-a-dia dentro da fábrica a grande maioria das recomendações do quadro 8 da norma EN 1090-2 (figura 3.1) são normalmente colocadas em prática pelos diferentes intervenientes, desde a receção de materiais até à expedição. O sistema do controlo de produção em fábrica (FCP) em geral permite o cumprimento desses requisitos.

Quadro 8 – Lista de medidas preventivas de manuseamento e armazenamento

Elevação	
1	Proteger os componentes contra danos nos pontos de apoio para elevação.
2	Evitar um único ponto de apoio para elevação em componentes longo através da utilização de vigas de distribuição conforme apropriado.
3	Agrupar componentes leves particularmente sensíveis a danos nas extremidades, torção e distorção se manuseados individualmente. Ter cuidados para evitar danos localizados onde os componentes se tocam, em pontos de apoio para elevação em extremidades não reforçadas ou outras zonas onde parte significativa do peso do conjunto está aplicado num ponto de extremidade não reforçada.
Armazenamento	
4	Empilhar os componentes produzidos, armazenados antes do transporte ou montagem, afastadas do solo para que se mantenham limpos.
5	Aplicar os suportes necessários para evitar deformações permanentes.
6	Armazenar as chapas perfiladas, e outros materiais fornecidos com superfícies decorativas pré-acabadas de acordo com os requisitos das normas de produto relevantes.

Figura 3.1 - Excerto retirado da tabela 8 da norma NP EN1090-2

Reconhece-se porém que os problemas e os incumprimentos poderão surgir quando menos se espera, sendo mais propícios e frequentes fora do perímetro da fábrica, mais propriamente dentro do estaleiro de obra; aqui onde muitas vezes as fracas condições existentes, aliadas a alguma falta de cuidado na manipulação dos materiais, poderão originar defeitos e deformações, por vezes difíceis de reparar obrigando muitas vezes à substituição de peças.

Neste tópico salienta-se a elevada importância de uma atempada preparação logística para a montagem e a conseqüente gestão dos recursos inerentes; nesta fase o acompanhamento é fundamental e o controlo/fiscalização deverá ser redobrado.

Alguns bons exemplos de armazenamento e de manipulação são mostrados abaixo nas figuras 3.2 a 3.9.



Figura 3.2 - Correto armazenamento das bobinas de chapa em fábrica por dimensão e por classe



Figura 3.3 - Correto armazenamento e separação dos perfis metálicos em fábrica por tipo de secção



Figura 3.4 - Correta manipulação das bandas de chapa fina em fábrica antes da quinagem com o auxílio de vigas de equilíbrio



Figura 3.5 - Correta Manipulação de painéis sandwich de revestimento em estaleiro com o auxílio de vigas de equilíbrio



Figura 3.6 - Correto embalamento e proteção dos enformados a frio após quinagem com películas, filmes de proteção e rolos de papel



Figura 3.7 - Correto armazenamento e separação de perfis enformados a frio com auxílio de “abraçadeiras” metálicas



Figura 3.8 – Correto armazenamento em estaleiro



Figura 3.9 – Correto armazenamento em estaleiro

Por outro lado, nas figuras 3.10 a 3.13 são apresentadas algumas situações incorretas a evitar.



Figura 3.10 - Acumulação de águas no interior da componente não evitada em estaleiro.



Figura 3.11 - Manipulação deficiente em estaleiro dos componentes metálicos e consequente perda localizada do tratamento superficial.



Figura 3.12 - Manipulação deficiente de painel com elevado comprimento (utilização indevida da viga de equilíbrio).



Figura 3.13 - Acondicionamento deficiente durante o transporte.



Figura 3.14 - Marcas transversais provocados pelos perfis de separação entre painéis.



Figura 3.15 - Dano do tratamento de superfície por falta de barrote de madeira com altura suficiente entre os componentes.

### 3.2. Consumíveis de soldadura

O correto armazenamento e acondicionamento dos consumíveis de soldadura é outro dos procedimentos que tem grande importância na garantia do produto acabado. A primeira das preocupações é assegurar a sua rastreabilidade, ação que deve ser prevista logo na receção dos consumíveis na fábrica. Embora não esteja diretamente implícito na norma NP EN 1090-2, de forma paralela na receção, dever-se-á realizar uma pequena rotina verificativa que tem por objetivo reforçar o controlo da encomenda rececionada, antecipando potenciais desconformidades e anomalias. Por conseguinte, dever-se-á:

- i. controlar se é rececionado aquilo que efetivamente foi encomendado;
- ii. verificar se o certificado do material de adição corresponde à encomenda;
- iii. verificar se o nº de lote recebido corresponde ao certificado emitido;
- iv. verificar se existem danos nas embalagens e potenciais oxidações.

De acordo com a cláusula 7.5.2 da NP EN 1090-2, dever-se-á posteriormente armazenar e acondicionar os novos consumíveis no “armazém central”, um local próprio concebido apenas para este efeito que previna a oxidação dos elétrodos, das varetas, dos fios e a boa conservação dos revestimentos dos elétrodos e dos fluxos.

A figura 3.16 mostra um exemplo de um local de armazenamento com condições ambientais adequadas e controladas ao nível da temperatura e da humidade, em conformidade com as especificações do fabricante (valores que deverão rondar os 60% para teores de humidade e os  $20 \pm 10^\circ\text{C}$  para valores de temperatura). Periodicamente os valores da temperatura e da humidade deverão ser avaliados e registados em impresso próprio de forma semelhante à apresentada na figura 3.17. Uma vez mais, o equipamento utilizado na medição deve estar devidamente calibrado e mostrar evidência dessa mesma calibração.



Figura 3.16 - Local próprio de armazenagem de consumíveis de soldadura

A photograph of a handwritten record sheet titled 'REGISTO DE HUMIDADE E TEMPERATURA NO ARMAZÉM DOS CONSUMÍVEIS'. The sheet contains a table with columns for Date, Hora, Humidade (RH%), and Temperatura (Temp. °C/°F). The data is recorded for several dates in August and September 2015. There are also columns for Observações and Assinatura, with some handwritten notes and signatures.

Figura 3.17 - Registo das condições ambientais dentro do “armazém central”

Deve-se garantir que se utilizam sempre os consumíveis rececionados há mais tempo e no caso de recorrer a eléctrodos (excetuando os *vacuum packed*) deve-se atempadamente fazer a passagem pelas estufas de secagem e manutenção por forma a manter e controlar os níveis de H<sub>2</sub> nos fluxos e revestimentos.

O revestimento dos eléctrodos é um componente essencial para o escorvamento e manutenção do arco eléctrico e em alguns casos pode simultaneamente constituir material de adição; são produtos complexos com múltiplas funções, promovem a função eléctrica, a função física/mecânica e uma função metalúrgica.

A absorção de humidade pode comprometer o bom desempenho dos eléctrodos, nomeadamente os de baixo teor de hidrogénio que são especialmente concebidos para fabricação de elevada responsabilidade ou para soldar materiais muito susceptíveis à fissuração a frio. A humidade excessiva pode ainda originar instabilidades do arco, dar origem a salpicos, porosidades do cordão de soldadura e mais grave ainda originar a fragilização do aço.

A temperatura e o tempo de permanência nessas estufas devem ser recomendados pelo fabricante dos consumíveis, sendo essa informação fornecida normalmente sob a forma de um fluxograma semelhante ao apresentado na figura 3.18. A NP EN 1090-2 também reconhece a importância deste procedimento, na cláusula 7.5.2 indica que na ausência de recomendações do fabricante os valores estabelecidos na figura 3.19 deverão ser utilizados. Comparando as duas figuras anteriores, rapidamente se conclui que não existem grandes diferenças entre os dois procedimentos; os níveis de temperatura e os tempos de permanência são muito semelhantes e correspondem aos valores que normalmente são adotados em fábrica.

FLUXOGRAMA PARA ELÉCTRODOS BÁSICOS / FLOW CHART FOR BASIC COVER ELECTRODES)

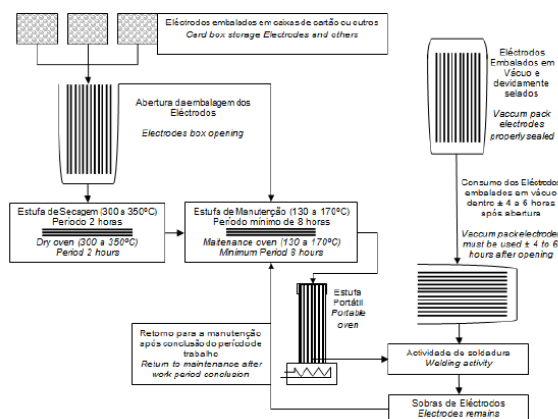


Figura 3.18 - Exemplo de um fluxograma para eléctrodos básicos de um fornecedor.

	Níveis de temperatura (T)	Tempo (t)
Secagem <sup>a</sup>	300 °C < T ≤ 400 °C	2 h < t ≤ 4 h
Armazenamento <sup>a</sup>	≥ 150 °C	antes da soldadura
Armazenamento <sup>b</sup>	≥ 100 °C	durante a soldadura

<sup>a</sup> Estufa fixa    <sup>b</sup> Estufa portátil

Figura 3.19 - Quadro 16 da EN1090-2

Relativamente à secagem de eléctrodos, a cláusula 7.5.2. da EN 1090-2 refere que após dois ciclos de secagem os eléctrodos deverão ser inutilizados. Esta obrigatoriedade é essencial para garantir a qualidade do revestimento do eléctrodo e a consequente protecção gasosa do banho em fusão; esta indicação não é novidade para a indústria visto que é recomendada desde sempre pela grande maioria dos fornecedores.

Para fazer face a este requisito é necessário a implementação de um procedimento de controlo e gestão para evitar potenciais enganos e/ou incumprimentos; sendo que cada empresa cria o seu sistema em função do respetivo funcionamento interno e o seu próprio *layout* organizacional. As figuras 3.20 e 3.21 apresentam um exemplo de um desses sistemas; trata-se de uma forma simples muito utilizada que se baseia num código de cores, segundo a qual, os eléctrodos que já sofreram uma secagem são pintados na ponta com um *spray* de cor branca, sendo os primeiros a ser retirados da estufa e os primeiros a ser utilizados. Quando retirados da estufa, todos eles deverão ser utilizados sob pena de não poderem voltar a ser secos; caso não sejam utilizados, a tinta branca é substituída pela cor vermelha e são tratados como produto não conforme e são imediatamente retirados da zona de produção.



Figura 3.20 - Eléctrodos de “ponta branca” com apenas uma secagem



Figura 3.21 - Eléctrodos de “ponta vermelha” colocados em recipiente próprio prestes a ser retirados da zona de produção

A estufa fixa (como a ilustrada na figura 3.22) é aquela onde no final do dia todos os eléctrodos sobrantes da estufa portátil são armazenados; aqui eles serão secos e preparados para serem novamente utilizados. Este tipo de estufa deverá possuir obrigatoriamente um respiro, um termómetro e um termostato para controlar e manter a temperatura exigida; salienta-se que neste tipo de equipamento a calibração é necessária.

As estufas portáteis (como a ilustrada na figura 3.23), por sua vez, deverão estar localizadas junto das bancadas de montagem em fábrica, de soldadura e fundamentalmente, em estaleiro de obra, sempre junto do soldador. Estas estufas devem ser igualmente controladas sob o ponto de vista da temperatura. A utilização das estufas portáteis junto das bancadas de montagem em fábrica, auxilia na garantia de qualidade das “fixações temporárias” previstas pela cláusula 7.5.6 da NP EN 1090-2.



Figura 3.22 - Estufa fixa de manutenção



Figura 3.23 - Estufa portátil de manutenção



## 4. CORTE

### 4.1. Processos

O corte dos materiais é efetivamente uma das mais importantes etapas no fabrico de um produto e a implementação de procedimentos que asseguram a qualidade do corte das peças tem um grande peso no custo final do produto a fabricar. O processo de corte deverá ser sempre ajustado ao produto a fabricar, tendo permanentemente presente o rácio qualidade de corte/ investimento em equipamento. A falta de qualidade no corte das peças pode levar a custos enormes de reparação, quer seja através da correção das dimensões, da substituição das peças ou através da correção com soldadura. Por outro lado, qualidade em excesso pode onerar desnecessariamente o custo do produto final.

As figuras 4.1 a 4.6 representam alguns dos processos mais conhecidos. O corte mecânico pode ser conseguido através da utilização da serra circular, da serra de fita, da guilhotina (cisalhamento) ou de abrasivos; o corte térmico pode ser realizado de forma automática ou manual. Qualquer um destes mencionados processos são processos aprovados e referenciados na cláusula 6.4 da NP EN 1090-2 (IPQ, 2015).



Figura 4.1 - Máquina de cortar e furar automática



Figura 4.2 - Serra de fita



Figura 4.3 - Guilhotina



Figura 4.4 - Oxicorte automático



Figura 4.5 - Oxicorte manual



Figura 4.6 - Corte abrasivo com rebarbadora

O corte térmico e o corte por cisalhamento são certamente os métodos mais utilizados no fabrico de peças em estruturas metálicas. O corte térmico é um processo de corte baseado na fusão do óxido de ferro no seio do oxigénio e o corte por cisalhamento é um processo que é conseguido através do cisalhamento dos materiais; ambos os processos necessitam de adequada verificação periódica.

A NP EN 1090-2 na cláusula 6.4.1 reconhece esta necessidade e refere que *“Se um processo não estiver conforme não deverá ser utilizado até que seja corrigido e verificado novamente”*, esta verificação deverá servir para garantir a qualidade e o rigor dos processos, sendo que *“as tolerâncias geométricas, as durezas máximas permitidas e a suavidade dos bordos livres devem ser sempre salvaguardadas em qualquer momento do processo.”*

## 4.2. Corte a frio /Cisalhamento

No caso do corte a frio e cisalhamento, a NP EN1090-2 na cláusula 6.4.2 indica que as “*superfícies de bordo livre devem ser verificadas e suavizadas conforme necessário de modo a remover defeitos significativos e se a rebarbagem ou maquinagem forem utilizadas a profundidade mínima para esmerilar ou maquinar deve ser 0,5mm*”. As rebarbas são restos e saliências de material que surgem inevitavelmente após o corte; são muito inconvenientes e por conseguinte devem ser retiradas após o corte das peças constituintes.

A figura 4.7 foi apresentada na manual do ISQ (Instituto de Soldadura e Qualidade) durante o “Curso de Coordenação de Soldadura para a EN 1090 – Nível Específico e Básico” (ISQ, 2014) e ilustra perfeitamente a estereotomia típica do corte.

Uma das formas mais habituais de proceder à limpeza e remoção destas arestas e superfícies de corte é através da utilização de um método abrasivo, usando-se normalmente para isso uma rebarbadora; desta forma evitam-se ferimentos e lesões nos operadores além de que facilitam significativamente os trabalhos durante a montagem das peças (figura 4.8).

É de salientar que este procedimento torna-se imperativo em peças que irão sofrer uma posterior furação; as rebarbas interferem de forma significativa no processo de furação, impedindo o “encosto total” e adequado das peças contra as guias da maioria dos equipamentos de furação (ver figura 4.9).

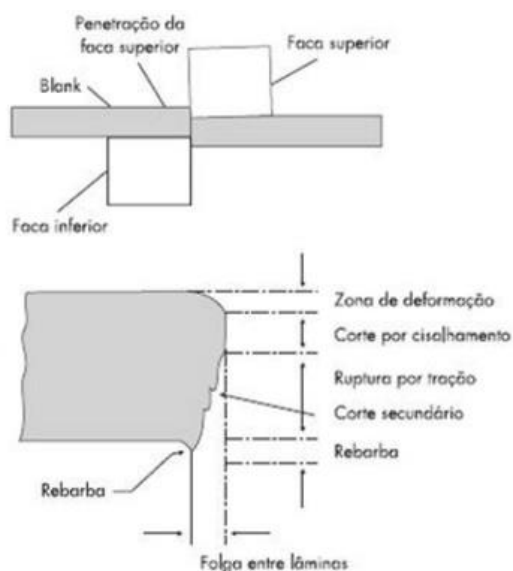


Figura 4.7 - “Estereotomia do corte” (in manual ISQ)



Figura 4.8 - Rebarbagem das peças constituintes após o corte



Figura 4.9 - Peça devidamente limpa e preparada para “encostar totalmente” na guia do equipamento de furação

Após diversas medições realizadas em registos de produção em fábrica, constata-se que a tolerância de 0,5 mm especificada na norma é perfeitamente suficiente e adequada para a limpeza, rebarbagem e suavização das arestas e superfícies. Salienta-se que o cumprimento deste valor depende de forma significativa do perfeito estado de conservação dos equipamentos de corte utilizados e dos seus consumíveis. Constata-se por isso que uma manutenção periódica eficaz é a melhor forma de garantir estes valores e deverá ser prevista no sistema de gestão de qualidade interno.

### 4.3. Corte térmico

A verificação da capacidade de um corte térmico é outro dos pontos de grande relevância previstos pela NP EN 1090-2. A cláusula 6.4.3 define claramente que o processo de corte deve ser periodicamente verificado e a qualidade da superfície de corte deve ser avaliada sob três aspetos distintos fundamentais:

- Os bordos de padrão equivalente
- A tolerância angular “u” (ângulo de corte)
- A altura média do perfil “Rz5” (rugosidade)

Para verificação deste requisito nas peças produzidas através do processo de corte térmico, a norma define que devem ser produzidas quatro amostras com mais de 200 mm da seguinte forma (conforme ilustrado da figura 4.10):

- Um corte direito da peça mais fina (1)
- Um corte direito da peça mais espessa (2)
- Um corte em canto de uma espessura representativa (3)
- Um corte curvo de uma espessura representativa (4)

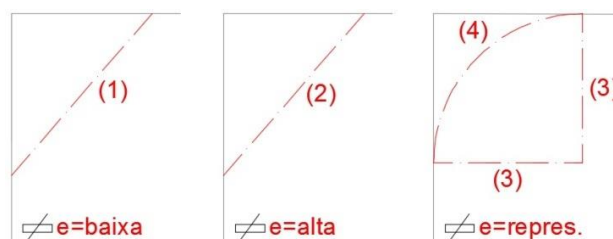


Figura 4.10 - Representação simbólica das 4 amostras necessárias para verificação da capacidade do corte térmico

Tomando como exemplo o processo de corte térmico normal e sem características de plasma, efetuaram-se a seguinte as seguintes avaliações:

**i. Bordos de padrão equivalente**

Em primeiro lugar, dever-se-á encontrar bordos de padrão equivalente entre dois dos provetes, ou seja, pretende-se obter no provete 4 (corte curvo) bordos de padrão equivalente ao provete 3 (corte em canto); trata-se de uma avaliação simples de executar e exige apenas uma inspeção visual comparativa entre os dois provetes. Após diversas análises realizadas, confirma-se que se consegue quase sempre encontrar padrões muito semelhantes entre si. As figuras 4.11 e 4.12 foram retiradas de uma dessas avaliações e são representativas dessa mesma conformidade.



Figura 4.11 - Corte em canto (3) de espessura representativa

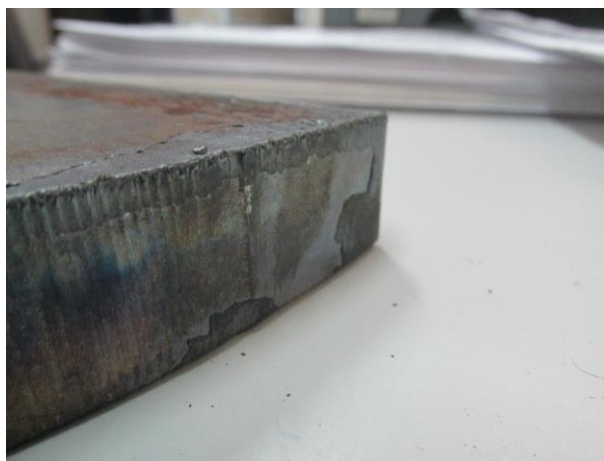


Figura 4.12 – Corte curvo (4) de espessura representativa

Se esta avaliação falhar, deve-se dar imediatamente início ao processo de manutenção ou reparação do equipamento de corte. Consta-se que na grande maioria das vezes basta executar uma simples limpeza e/ou substituição dos bicos de corte para que o problema fique totalmente resolvido.

**ii. Perpendicularidade ou tolerância angular**

A avaliação da perpendicularidade ou tolerância angular “u” envolve simultaneamente o provete 1 (peça mais fina) e o provete 2 (peça mais espessa). De acordo com a norma NP EN 1090-2 para as classes de execução 2 ou 3 este parâmetro deve ser enquadrado dentro dos limites do Gama 4 (ver figura 4.13). Estes níveis de qualidade da superfície de corte são definidos pela ISO EN 9013 (CEN, 2017) [“Thermal cutting - Classification of thermal cuts – Geometrical product specification and quality tolerances”] (ver figura 4.14) e neste caso o valor “u” é a dimensão a avaliar e corresponde à distância entre duas linhas paralelas, entre as quais a superfície de corte está inserida.

A ISO EN 9013, além de fornecer quais os parâmetros a medir e a sua classificação, indica ainda também quais os métodos de medida e os instrumentos que poderão ser utilizados na avaliação; constata-se que o equipamento de medição permitido é financeiramente acessível, facilmente disponível e de fácil utilização.

Reitera-se ainda que qualquer instrumento de medição utilizado deverá estar devidamente calibrado e mostrar evidência dessa mesma calibração.

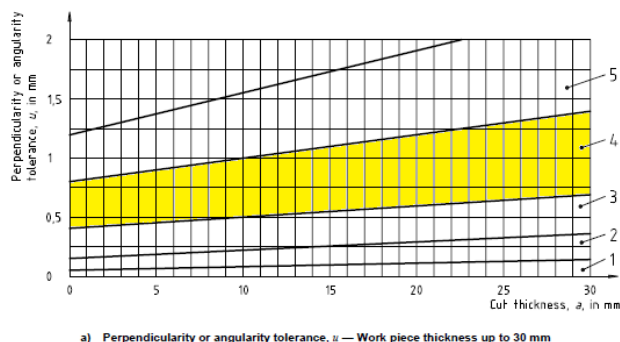


Figura 4.13 - Gráfico retirado da ISO EN 9013 onde se define a gama 4 para “u”

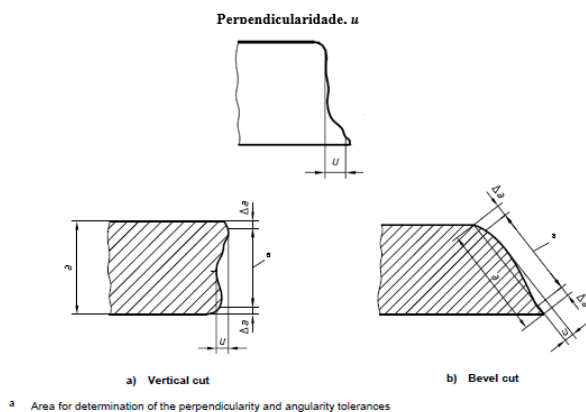


Figura 4.14 - Definição do parâmetro “u” previsto na ISO EN 9013

### iii. Rugosidade da superfície de corte

A avaliação da rugosidade é definida pela determinação precisa do parâmetro  $Rz5$  (ver figura 4.15) e envolve novamente a avaliação dos provetes 1 e 2. Este parâmetro surge uma vez mais definido e referenciado na ISO EN 9013 e para as classes de execução 2 e 3 deve ser localizado dentro do Gama 4 (ver figura 4.16).

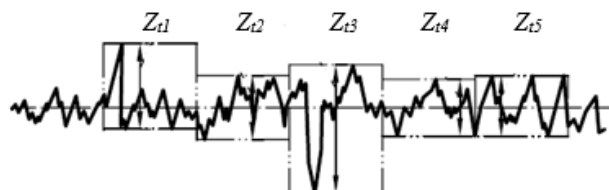


Figura 4.15 - Figura retirada da ISO EN 9013

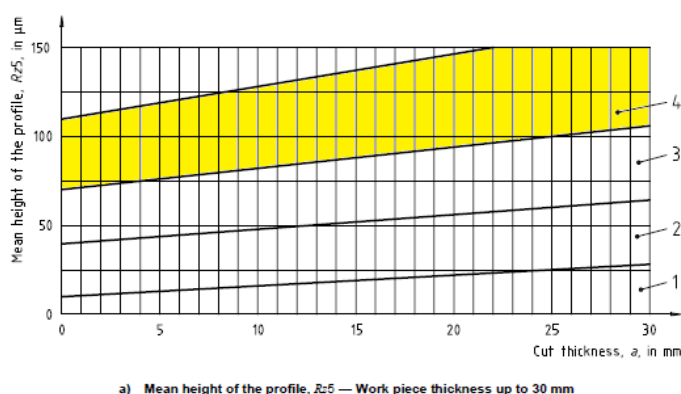


Figura 4.16 - Gráfico retirado da norma ISO 9013 onde se define a gama 4 de tolerância para “ $Rz5$ ”

A rugosidade de uma superfície é definida por um conjunto de irregularidades que são normalmente constituídas por saliências (picos) e reentrâncias (vales). A sua avaliação mostra-se algo complexa e além de promover grande polémica na indústria, propicia algumas discussões e atritos com as entidades certificadoras que por sua vez não demonstram ainda grande sensibilidade para a matéria.

A norma ISO EN 9013 é bem estruturada, explícita e indica a necessidade de utilização de um instrumento de medição e de elevada precisão denominado por “rugosímetro”; são equipamentos muito específicos e altamente dispendiosos mas que deviam estar sempre disponíveis a fim de serem utilizados em fábrica para controlo permanente.

Quando surgiu a obrigatoriedade da marcação CE para a execução de estruturas metálicas, a indústria metalomecânica apercebeu-se da necessidade clara de possuir um rugosímetro em fábrica; apenas dessa forma seria possível controlar o perfil de corte obtido no corte térmico com obtenção de valores rigorosos para comparar com as gamas de tolerância definidas na NP EN 1090-2.

Com o intuito de perceber o funcionamento e a adequação deste equipamento à utilização regular em fábrica e à porventura “reduzida” espessura dos provetes, alguns fornecedores de aparelhos de medição foram abordados na altura; verificou-se que estes, além de não mostrarem grande conhecimento sobre o assunto também não forneceram respostas concretas. Perante esta lacuna, algumas metalomecânicas viram-se obrigadas a contactar entidades externas no domínio da “inspeção, verificação, análise e certificação”, no sentido de executarem a avaliação de alguns provetes em laboratório; constatou-se que este serviço pode efetivamente ser realizado no exterior mas também se verifica que o nº de entidades com capacidade para as realizar são diminutas. Ainda assim e tendo presente a enorme quantidade de variáveis que pode afetar a qualidade do corte térmico, constata-se que esta não será a solução ideal dado que não garante um controlo permanente em fábrica.

Perante todo este panorama, acredita-se que esta avaliação não está a ser realizada tal como a norma o sugere e que provavelmente, a grande maioria das empresas fabricantes de estruturas metálicas terão tido as mesmas dúvidas e as mesmas dificuldades em fazer cumprir a norma neste ponto tão específico.

Na verdade, o corte térmico é um processo extremamente sensível que carece de verificação contínua, permanente e constante. O primeiro indicador de que a “conformidade” começa a estar comprometida revela-se claramente no deficiente perfil de corte com os seus muito próprios agrestes relevos. A atempada deteção poderá minimizar significativamente os custos de reparação ou de substituição.

Constata-se também que os fabricantes de estruturas compreendem totalmente a importância deste tema; verifica-se que a presença de uma rugosidade excessiva do perfil de corte sempre criou grandes constrangimentos no quotidiano industrial e obrigou em certos casos à adoção de métodos alternativos de controlo interno; verifica-se ainda que muitos destes métodos não são assegurados pelas recomendações definidas na ISO EN 9013 e pela avaliação do rugosímetro mas devem ser valorizados na medida em que representam preocupação em controlar e minimizar as irregularidades provenientes do corte.

Estes métodos alternativos podem passar por exemplo, pela rebarbagem de todas as peças ao longo de todo o perímetro de corte, ou então pela utilização de tipologias de “padrões de corte” ilustrados; estas ilustrações não apresentam grande rigor científico mas são extremamente acessíveis e fáceis de interpretar, na grande maioria dos casos são provenientes do conhecimento empírico de cada organização e podem ser facilmente utilizados; mostram-se de grande utilidade e são muito versáteis na medida em que facilitam significativamente o dia-dia do operador.



Por exemplo, a figura 4.17 foi retirada do manual de estudo fornecido pela RELACRE (associação de laboratórios acreditadas de Portugal) durante o curso de certificação de técnicos de ensaios não destrutivos de acordo com a norma EN ISO 9712:2012 (CEN, 2012), e apresenta vários padrões de corte possíveis. Neste caso o operador do equipamento de corte faz uma inspeção visual da superfície de corte, e se encontra um padrão semelhante a A (velocidade ideal) ou B (velocidade industrial), pode dar seguimento às peças e ao normal processo de produtivo; caso contrário deve aplicar rebarbagem e suavizar as superfícies de corte de forma a se aproximar dos padrões de qualidade expectáveis.

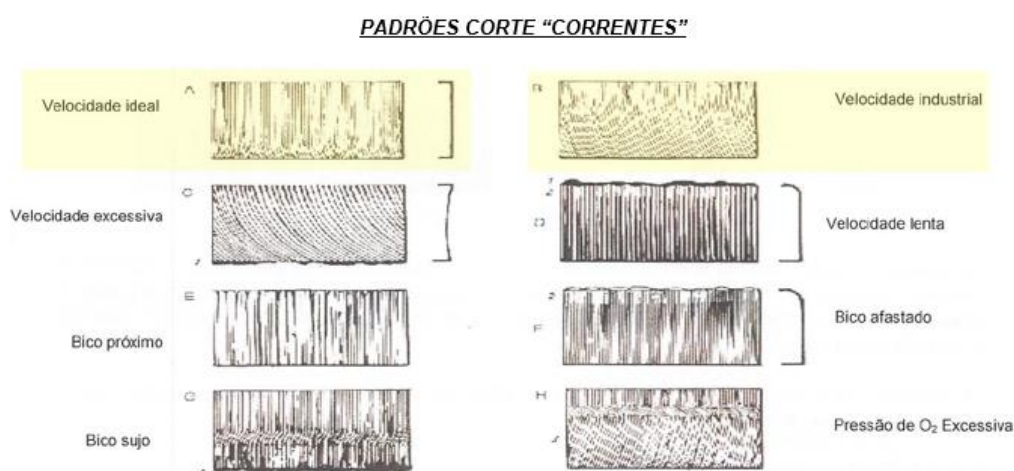


Figura 4.17 - Exemplo de padrão de corte ilustrado (RELACRE, 2015)

Assumindo novamente um processo de oxicorte simples (sem características de plasma) e perante este método alternativo, o provete 1 (figura 4.18) apresenta-se com um padrão de corte “ideal” enquanto o provete 2 (figura 4.19) apresenta um padrão de corte “industrial”; desta forma qualquer um deles seria aceitável e indicaria a conformidade do processo.

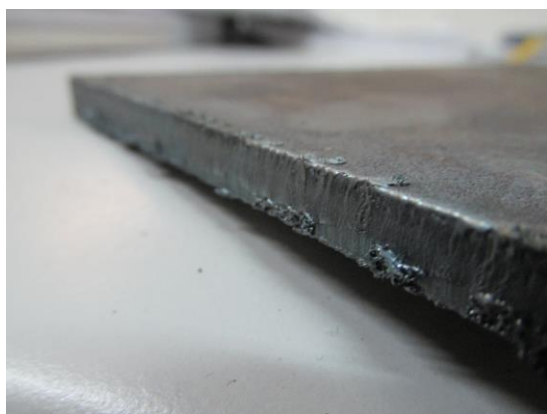


Figura 4.18 - Exemplo da peça mais fina (provete 1 – 6 mm) utilizada no ensaio



Figura 4.19 - Exemplo da peça mais espessa (provete 2- 60 mm) utilizada no ensaio

A figura 4.20 foi retirada de um manual de formação fornecido pelo ISQ durante o curso de Coordenação de Soldadura para a EN 1090 – Nível específico e básico, nesta figura é apresentado um outro exemplo de “padrões de corte”, neste caso além da ilustração é apresentado também a causa provável da ocorrência, este tipo de informação é muito importante para a intervenção retificativa e imediata do operador do equipamento.

Defeitos e descontinuidades no oxicoorte.

Ocorrência	Ilustração	Provável Causa
Golivagem na borda superior		Velocidade de corte excessiva; Bico sujo ou danificado
Golivagem na borda inferior		Velocidade de corte excessiva; Bico sujo ou danificado
Superfície de corte côncava		Velocidade de corte excessiva; Bico sujo ou danificado; Baixa pressão de O <sub>2</sub> de corte
Superfície de corte convexa		Velocidade de corte excessiva; Bico sujo ou danificado; Baixa pressão de O <sub>2</sub> de corte
Fusão da borda superior		Baixa velocidade de corte; Pouca ou muita distância do bico à peça; Bico muito grande; Chama de pré-aquecimento excessiva
Gotas fundidas na borda superior		Pouca distância do bico à peça; Chama de pré-aquecimento excessiva; Carepas ou ferrugem na superfície da chapa
Borda superior golivada com escória		Distância excessiva do bico à peça; Chama de pré em excesso; Pressão do O <sub>2</sub> de corte excessivamente alta

Ocorrência	Ilustração	Provável Causa
Borda inferior arredondada		Pressão do O <sub>2</sub> de corte excessivamente alta; Bico sujo ou danificado; Velocidade de corte excessiva
Entalhe na superfície do corte inferior		Bico sujo ou danificado; Baixa velocidade de corte
Ondulações profundas		Alta velocidade de corte; Velocidade de corte desigual; Pouca distância bico/peça; Chama de pré-aquecimento muito forte
Grandes ondulações desiguais		Alta velocidade de corte; Velocidade de corte desigual; Chama de pré-aquecimento muito fraca
Corte incompleto		Velocidade de corte excessiva; Distância bico/peça muito grande; Bico sujo ou danificado; Chama de pré-aquecimento muito fraca; Retrocesso no bico e maçarico; Carepas ou ferrugem na superfície da chapa; Chapa com inclusão de escória
Escória aderente na borda inferior		Carepas ou ferrugem na superfície da chapa; Bico muito pequeno; Chama de pré-aquecimento muito fraca; Alta ou baixa velocidade de corte; Distância excessiva do bico/peça; Baixa pressão do O <sub>2</sub> de corte

Figura 4.20 - Exemplo de padrão de corte ilustrado (ISQ, 2014)

Todos os equipamentos de corte térmico deverão ser verificados periodicamente; no final da avaliação da capacidade do processo de corte térmico, deve-se gerar um registo semelhante aquele que se apresenta na figura 4.21.

Equipamento M 4	Data 25/03/2015				Data				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
Espessura pretendida	Maior espessura	Menor espessura	Espessura representativa	Espessura representativa	Maior espessura	Menor espessura	Espessura representativ	Espessura representativa	
	Tipo de corte	Corte retilíneo	Corte retilíneo	Corte em vértice	Corte curvo	Corte retilíneo	Corte retilíneo	Corte em vértice	Corte curvo
	Verificação	60	6	25	25				
Bordos padrão equivalente	Verificação	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme				
	Padrão de corte "corrente"	Industrial	Ideal	Ideal	Ideal				
Rugosidade	Verificação	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme				
	u, teórico (mm)	Gama 4	Gama 4	Gama 4	Gama 4				
Perpendicularidade, u	u, medido (mm)	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0				
	Equipamento utilizado	Nível Enquadrado	Nível Enquadrado	Nível Enquadrado	Nível Enquadrado				
	Verificação	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme				
Operador	Nuno Gonçalves								

Figura 4.21 - Exemplo da verificação da capacidade do processo de corte térmico

#### 4.4. Dureza das superfícies de bordo livre

A dureza é a resistência que o material apresenta à penetração; macroscopicamente o seu aumento está intimamente ligado a um aumento da resistência, mas traduz-se num significativo decréscimo da ductilidade e da tenacidade. A diminuição da resistência que o material apresenta à propagação de fendas na presença de estruturas demasiadamente duras e frágeis é de facto a maior batalha a travar do ponto de vista do projeto estrutural que pretende acima de tudo assegurar estruturas resistentes com boa capacidade de deformação antes da rotura.

As durezas excessivas podem surgir em peças sujeitas a corte térmico (onde existem elevadas transformações estruturais com rápidas variações de temperatura), mas também devido ao corte a frio (corte e furação em geral) em consequência das elevadas tensões internas envolvidas durante a deformação plástica; ainda assim, a suscetibilidade de surgirem durezas excessivas em superfícies resultantes de corte térmico são consideravelmente maiores.

O facto de a avaliação da dureza não ter sido incluída na verificação da capacidade do processo (referida no ponto anterior), não foi por acaso. A norma NP EN 1090-2 (IPQ, 2015) não a considera de carácter obrigatório e apenas a exige se tal for especificado ou exigido por terceiros. Ainda assim, refere que o controlo da existência de estruturas demasiadamente duras e frágeis seja executado de acordo com o quadro 10 da cláusula 6.4.4 da NP EN 1090-2, um quadro que relaciona a dureza com as classes de resistência e grupos do aço (tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Durezas máximas em função da classe e grupo do aço previstas na NP EN1090-2

Product standards	Steel grades	Hardness values
EN 10025-2 to -5	S235 to S460	380
EN 10210-1, EN 10219-1		
EN 10149-2 and EN 10149-3	S260 to S700	450
EN 10025-6	S460 to S690	
NOTE These values are in accordance with EN ISO 15614-1 applied to steel grades listed in ISO/TR 20172.		

Considerando uma utilização estrutural corrente para construção, pode-se dizer que os aços do grupo 2 a 5 da EN 10025 são talvez dos mais utilizados, sendo para estes exigidos valores abaixo dos 380 HV10 (Ensaio de dureza Vickers). Por forma a verificar o cumprimento deste valor, decidiu-se executar uma série de amostras representativas e proceder ao seu ensaio nos laboratórios da FCTUC – DEM com base na norma EN ISO 6507 (CEN, 2005). A tabela 4.2 apresenta uma rescrição dos provetes utilizados no ensaio.

Provete	Classe Aço	t(mm)	Descrição
1	S275 JR	24	Furação com $\phi$ de 24 mm por processo de cisalhamento
2	S275 JR	40	Furação com $\phi$ de 63 mm por processo de “brocagem”
3	S355 JR	24	Corte térmico através de plasma industrial
4	S355 JR	30	

A figura 4.23 mostra a execução do ensaio nos laboratórios de DEM da FCTUC e a figura 4.24 apresenta dois dos provetes que foram utilizados neste ensaio; estas amostras foram inicialmente polidas com lixas de granulometria progressivamente menor (de 320, 600, 1000 e 2500) e foram finalizadas com pasta de diamante de 3 micron; procedimento essencial para conseguir obter uma superfície espelhada. Posteriormente foi realizado um ataque com Nital (3% de ácido nítrico em álcool) durante 30 segundos, de modo a evidenciar a microestrutura.



Figura 4.22 - Execução do ensaio Vickers

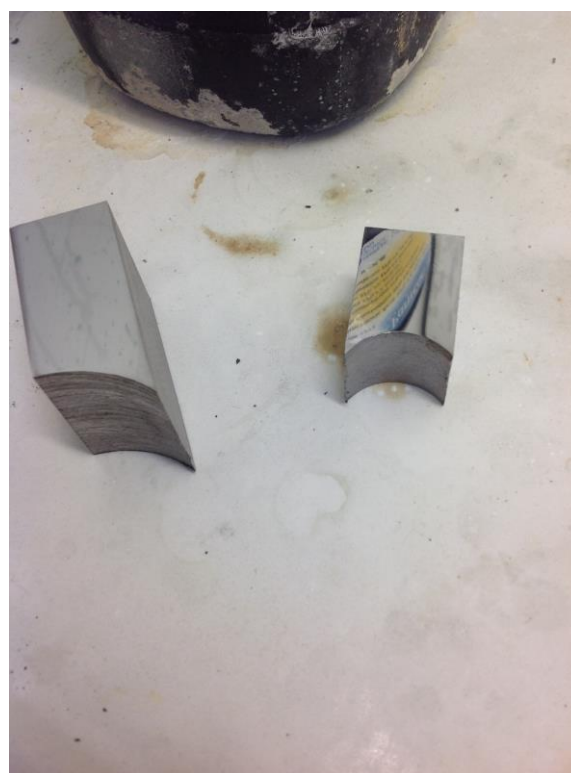


Figura 4.23 - Provetes 1 e 2

A tabela 4.3 mostra os valores obtidos ao longo do ensaio, salienta-se que o penetrador de diamante avançou sobre a superfície das amostras com espaçamentos de 1 mm, tendo sido reduzido para 0.5 mm quando se deu a aproximação ao bordo mais fragilizado e teoricamente de maior dureza.

Tabela 4.3 - Resultados do ensaio de durezas HV10 \_Vickers

Ponto	Avaliação da dureza (Ensaio Vickers - HV10)			
	Furação		Corte térmico	
	Provete 1 24 mm	Provete 2 40 mm	Provete 3 24 mm	Provete 4 30 mm
1	169	148	166	225
2	169	144	164	235
3	169	146	160	242
4	169	146	162	229
5	169	144	141	242
6	169	145	145	249
7	169	143	159	249
8	169	143	158	239
9	170	143	171	281
10	162	138	185	391
11	176	141	360	
12	173	151		
13	167	182		
14	169			
15	160			
16	163			
17	181			
18	168			
19	173			
20	170			
21	165			
22	182			
23	169			
24	196			

Relativamente aos provetes sujeitos ao processo de furação, verificou-se que os valores máximos obtidos não apresentaram valores acima dos 380 HV permitidos pela norma. Ainda assim confirmou-se que os maiores valores de dureza surgiram no provete sujeito ao processo de furação mais intrusivo de todos, o de cisalhamento.

Relativamente aos provetes sujeitos ao corte térmico, uma outra realidade foi encontrada; após o polimento com ataque do Nital e mesmo se tratando de aços com a mesma classe de qualidade, verificou-se que as amostras eram provenientes de aços com estruturas internas completamente diferentes. Constatou-se que o provete de 24 mm apresentava uma estrutura com matriz maioritariamente perlítica, ao invés do provete de 30 mm que apresentava um grão muito mais fino, teoricamente mais duro e de melhor qualidade; esta qualidade melhorada propiciou desde logo valores de dureza significativamente maiores que os encontrados no provete de 24 mm e teve como consequência a obtenção de um valor de 391 HV; este valor foi encontrado exatamente sobre o bordo de corte (zona fundida) e ultrapassa os 380 HV definidos na norma NP EN 1090-2.

Não desprezando que o corte através de plasma é um dos processos mais intrusivos de todos, contou-se que a utilização de aços da mesma qualidade não é sinónimo da obtenção de durezas equivalentes e da mesma ordem de grandeza; verificou-se que a microestrutura influencia determinantemente estes resultados e pode muito facilmente provocar valores de dureza acima do que é permitido; também se verifica que os maiores valores apenas se verificam sobre a zona fundida e que 0.5 mm atrás apresentam valores significativamente inferiores. Conforme se indica na cláusula 4.1.1 deste trabalho, a limpeza da superfície de corte com um método abrasivo (p.e. rebarbagem) é um bom procedimento para remover a fragilidade desta zona e eliminar as maiores durezas.

## 5. FURAÇÃO

### 5.1. Processos de furação

A adoção de ligações aparafusadas ao invés das soldadas é uma realidade cada vez mais presente para os fabricantes de estruturas metálicas; a utilização desta solução permite montagens mais rápidas e com mão-de-obra menos especializada; além disso, permite uma execução e um controlo de qualidade muito mais fácil de realizar. A figura 5.1 ilustra bem a preferência cada vez maior das ligações aparafusadas.



Figura 5.1 – Exemplo de ligações preferencialmente aparafusadas

Para utilizar a solução aparafusada, torna-se necessário que o estudo das ligações seja orientado nesse sentido e que a fabricação esteja capacitada para munir as peças com a furação adequada com respeito pelas tolerâncias normativas. A furação é um dos processos de maquinagem mais utilizados na indústria de construção metálica e os processos de furação normalmente utilizados no fabrico de estruturas metálicas estão perfeitamente previstos pela norma NP EN 1090-2 (IPQ, 2015); segundo esta norma a furação das peças metálicas pode ser efetuada por um dos seguintes processos:

- a) perfuração com broca;
- b) punçoamento;
- c) corte laser;
- d) corte plasma;
- e) corte térmico.

Qualquer que seja o processo usado, devem ser assegurado nos furos acabados:

- os requisitos de corte relativos à dureza local;
- a qualidade da superfície de corte de acordo com requisitos previstos no capítulo relativo ao corte (atrás referido);
- que todos os furos sejam compatíveis entre si, para que os parafusos e cavilhas possam ser introduzidos livremente através dos elementos montados, numa direção perpendicular às faces em contacto.

As figuras 5.2 a 5.7 apresentam exemplos dos equipamentos mais utilizados na execução desta operação e que poderão ser encontrados normalmente em metalomecânicas.



Figura 5.2 - Máquina universal "Darley / Geka"



Figura 5.3 - Engenho de furação Engenho de furação



Figura 5.4 - Corte e furação de elementos de chapa fina em banda



Figura 5.5 - Equipamento de corte e furação automático de perfis laminados



Figura 5.6 - Base magnética e berbequim



Figura 5.7 - Oxicorte simples /plasma

De uma forma geral os processos anteriormente referidos dividem-se fundamentalmente em 3 grupos principais, a furação por cisalhamento, por broca e a furação por fusão. Normalmente a escolha de um processo face a outro está sempre relacionada com o volume de produção, a repetibilidade, a forma e a dimensão da peça e também com a disponibilidade de recursos.

Tal como foi acima referido, a norma NP EN 1090-2 permite a utilização de todos eles mas impõe algumas reservas e cuidados na execução, nomeadamente para as classes de execução EXC3 e EXC4; na norma é dedicada manifestamente mais atenção ao processo de cisalhamento e ao de fusão porque são reconhecidamente os mais exigentes e os que potenciam menor eficácia em serviço se não forem devidamente controlados. Estes dois processos são provavelmente os mais utilizados pela indústria pelo facto de serem processos limpos, de rápida execução (nomeadamente na produção em série) e de apresentarem furos de boa qualidade; contudo, a principal desvantagem pode ser encontrada na grande deformação plástica no material e nos danos localizados na área em torno do furo.

É reconhecido que a performance dos furos à tração e à fadiga é minimizada aquando da utilização destes processos comparativamente com outros processos; a perfuração através de broca é um desses bons exemplos, dado que apresenta uma furação gradual, lenta, provocada por um movimento rotacional e por arranques de apra, apresentando-se desta forma muito menos intrusiva e de melhor qualidade.



## 5.2. Tolerâncias no diâmetro dos furos

A dimensão dos furos para ligações com ligadores mecânicos e cavilhas é especificado na cláusula 6.6.1 da NP EN 1090-2. Nessa secção é fornecido o quadro 11 designado por “Folgas nominais para parafusos e cavilhas”, que tem por objetivo normalizar as folgas necessárias para condições “normais” de execução.

A definição da dimensão máxima e mínima é essencial para a indústria, pois o mercado global exige que todos os intervenientes trabalhem da mesma forma e com as mesmas regras. A padronização permite a execução de trabalhos em diferentes locais de fabricação e com garantia de obtenção de uma montagem eficaz onde as peças encaixem perfeitamente entre si.

Sendo o punçoamento um dos processos de furação mais utilizados no dia-a-dia e tendo em conta que os equipamentos de furação que normalmente são utilizados nas metalomecânicas não diferem muito entre si (dada a elevada especificada do processo reconhece-se que provêm quase sempre dos mesmos fabricantes, com as mesmas matrizes e acessórios de série), no âmbito do presente trabalho, optou-se por averiguar a compatibilidade dos mesmos para com as dimensões previstas na norma.

Desta forma foi realizado um levantamento de todos os cepos/matrizes/punções de dois equipamentos distintos relativamente recentes existentes na metalomecânica. Trata-se de marcas conhecidas no campo das “máquinas universais” e ambas permitem a utilização de matrizes com diâmetros compreendidos entre os 12 e os 36 mm. A tabela 5.1 apresenta os resultados e assinala a verde os diâmetros compatíveis e a vermelhos os incompatíveis.

Tabela 5.1- Levantamento das matrizes de punçoamento mais correntes

TOLERÂNCIAS NOMINAIS PARA PARAFUSOS E CAVILHAS												
Tipo Furo	Observação	DIÂMETRO										
		12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
Furos redondos normais	Excepto torres e mastros	14	16	18	20	22	24	26	30	33	36	39
Furos red. sobredimensionados		15	17	20	22	24	26	30	35	38	41	44
Furos ovalizados curtos		14*16	16*18	18*22	20*24	22*26	24*28	26*32	30*40	33*43	36*46	39*49
Furos ovalizados longos		14*18	16*21	18*24	20*27	22*30	24*33	26*36	30*41	33*45	36*50	39*54

Constata-se que as matrizes de série disponíveis permitem a execução de quase todos os “furos redondos normais”, apenas com uma reserva para o caso do diâmetro de 39 mm. A execução de furos redondos regulamentares do tipo “sobredimensionado”, apresenta resultados aceitáveis apenas com quatro incompatibilidades nos diâmetros de 15, 17, 41 e 44 mm.

Relativamente aos furos ovalizados curtos ou longos, os resultados já não são assim tão satisfatórios. Pelo contrário encontra-se uma grande discordância de dimensões, ou seja, encontram-se afetas ao equipamento dezenas de matrizes de série com dimensões totalmente incoerentes com a norma e portanto totalmente obsoletas. A NP EN 1090-2 permite a utilização de outros processos para conseguir o mesmo resultado, como por exemplo através do punçoamento de dois furos extremos com finalização manual a corte térmico; trata-se de uma possibilidade mas a morosidade e a fraca qualidade visual obtida é pouco comparável com a eficácia e com a grande rapidez permitida no punçoamento.

Com isto pretende-se apenas alertar para um problema que se julga transversal a todo o mercado de fabricação metálica e a todos os equipamentos existentes dentro das metalomecânicas, inclusivamente os mais recentes; elas possuem dezenas de matrizes incorporadas (ver figura 5.8) que ainda não sofreram a devida atualização, que representam muito valor para as empresas e por esse motivo não podem ser simplesmente deitadas no lixo. Acredita-se que a grande maioria das metalomecânicas irá continuar a utilizá-las até que sejam danificadas em serviço e sejam devidamente substituídos por novas matrizes com dimensões já normalizadas.

Neste tópico abordou-se apenas as tolerâncias da furação obtida pelo processo de punçoamento; outros processos podem sempre ser utilizados a fim de garantir as tolerâncias definidas na norma. A furação com plasma com ou sem perfuração final com broca (mediante classe de execução em vigor) é uma opção e pode ser sempre utilizado para cumprir os valores da norma.



Figura 5.8- Matrizes de punçoamento

### 5.3. Requisitos na execução da furação

#### 5.3.1 Capacidade dos processos

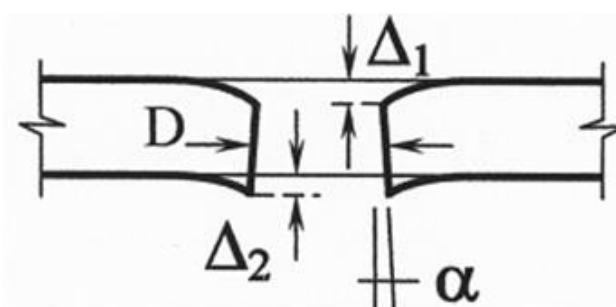
A capacidade dos processos de furação é um dos pontos-chave avaliados numa auditoria para obtenção da “Marcação CE”; esta avaliação deve ser periodicamente verificada e mostra-se de simples execução.

Os requisitos de corte relativos à dureza local e à qualidade da superfície de corte são novamente referenciados na norma NP EN 1090-2 (IPQ, 2015) e mantêm a importância já descrita nos capítulos anteriores.

De acordo com a norma, oito amostras devem ser produzidas a partir dos produtos constituintes abrangendo a gama de espessuras e de diâmetros de furação que normalmente são utilizados no fabrico e no final dever-se-á controlar o tamanho dos furos em ambas as extremidades usando um calibre passa/não passa.

De uma forma geral, a furação deve estar em conformidade com o seguinte:

- o ângulo de afunilamento ( $\alpha$ ) não deve exceder o indicado na figura 5.9;
- as rebarbas ( $\Delta$ ) não devem exceder o indicado na figura 5.9;
- nas emendas, os furos em superfícies sobrepostas devem ser executados por punçoamento numa só direção para todos os componentes.



$$D = (d_{\max} + d_{\min}) / 2$$

$$\text{Max} (\Delta 1 \text{ ou } \Delta 2) \leq D / 10$$

$$\alpha \leq 4^\circ \text{ (i.e. 7 \%);}$$

Figura 5.9- Distorções permitidas para furos executados por punçoamento e cortes com plasma [NP EN 1090-2].

A tabela 5.2 mostra um exemplo de uma das verificações periódicas no âmbito da verificação capacitiva dos processos de furação usados na metalomecânica na qual foi desenvolvido o presente trabalho, conforme recomendação da NP EN 1090-2. Neste caso foram testadas oito amostras com variadas espessuras e com diferentes diâmetros de furação; nesta tabela encontra-se o registo dos valores das distorções encontradas e a verificação face aos requisitos previstos na norma. Neste caso específico, qualquer um dos 8 provetes apresentou resultados favoráveis.

Tabela 5.2 - Exemplo de verificação capacitiva do processo de furação a punção.

Equipamento 007		Data 30/04/2015							
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7	Amostra 8
Tolerância angular	Classe do aço	S275	S275	S275	S275	S275	S275	S275	S275
	Espessura da chapa (mm)	4	6	6	10	10	15	20	20
	Diâmetro do furo	10	14	18	12	18	22	22	26
	$d_{max}$ (mm)	10,2	14,7	18,6	12,4	18,8	23	23,3	27,3
	$d_{min}$ (mm)	9,9	13,9	17,8	11,8	17,8	21,6	21,7	25,6
	$D$ (mm)	10,05	14,3	18,2	12,1	18,3	22,3	22,5	26,45
	$\Delta_1$ (mm)	0	0,5	1	1	1	0,5	0,5	1
	$\Delta_2$ (mm)	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0,5
	$\alpha$	2,14	3,81	3,81	1,72	2,86	2,67	2,29	2,43
	Verificação	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Operador		Nuno Gonçalves							

### 5.3.2 Espessura nominal dos componentes

Na furação por punçoamento, o diâmetro do furo tem de ser sempre maior que a espessura da chapa e, no caso de o furo ser não circular, a sua menor dimensão deve também ser superior à espessura. Esta exigência prende-se essencialmente com a grande probabilidade de quebra do punção em serviço se esta condição não for observada (ver figura 5.10), comprometendo a segurança do operador.

Os operadores dos equipamentos de furação têm noção do risco envolvido e por norma cumprem sempre a regra anterior. A formação e a informação são essenciais não só para eles, mas também para os “preparadores de trabalho” que desenvolvem e detalham o projeto a montante. Por isso deverão ser criadas dentro da organização “regras de desenho” e “instruções de trabalho” com boas práticas de preparação onde constem os requisitos de maior notoriedade previstos pela norma NP EN 1090-2; a figura 5.11 foi retirada de uma dessas instruções de trabalho e ilustra este ponto específico.



Figura 5.10 - Exemplo de punção danificado em serviço

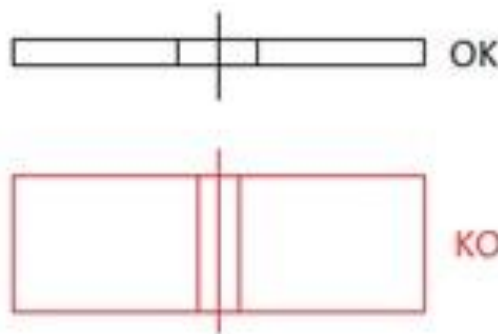


Figura 5.11 - Ilustração do requisito "espessura nominal dos componentes"

### 5.3.3 Cortes em cantos reentrantes

Os cantos reentrantes são zonas de concentração de tensões que se não devidamente controlados, podem reduzir significativamente a resistência da peça. Nestes casos, a adoção de pormenores de execução adequados é imperativa e deve sempre passar pela suavização dos contornos destas zonas críticas, apenas assim se pode evitar a ocorrência de fissuração.

A figura 5.12 foi retirada do manual do curso de Coordenação de Soldadura para a EN1090 – Nível específico e básico dado do ISQ e ilustra um pouco melhor o fenómeno atrás referido. Pode-se observar o impacto que as variações de secção têm no caminho das tensões, impacto este com consequências mais graves se estivermos a tratar de estruturas sujeitas a cargas cíclicas.

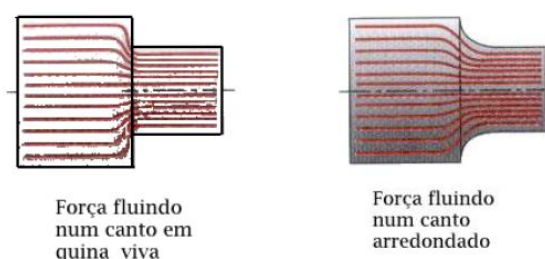


Figura 5.12 - Linha de forças sem e com arredondamento dos cantos dos elementos (ISQ, 2014)

Independentemente do processo de corte utilizado, dever-se-ão utilizar boas práticas no corte. A norma NP-EN 1090-2 na cláusula 6.7 ilustra as opções previstas (ver figura 5.13) e informa qual é a mais adequada, indicando simultaneamente que o raio mínimo de curvatura para estruturas de classe de execução EXC2 e EXC3 deverá ser de 5 mm e de 10 mm para estruturas de classe de execução EXC4.

Constata-se que estes valores são perfeitamente aceitáveis e enquadram-se perfeitamente dentro daquilo que é normalmente utilizado dentro da fabricação. O detalhe nº2 da figura 5.13 é talvez o mais utilizado atualmente e encontra-se exemplificado no tratamento dos cantos reentrantes das vigas do tipo IPE que são apresentadas na figura 5.14.

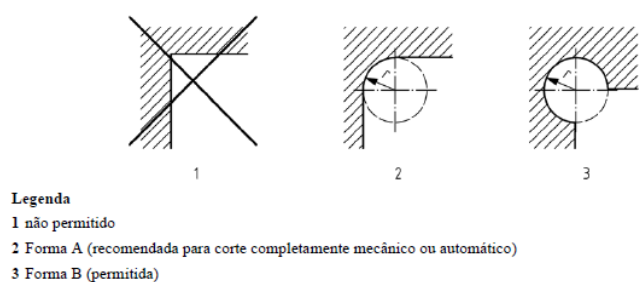


Figura 5.13 - Excerto da norma NP EN 1090-2



Figura 5.14 - Tratamento dos cantos reentrantes de vigas tipo IPE

Convém referir que estas boas práticas são executadas há vários anos pela indústria, constatando-se que mesmo em obras mais antigas se encontram alguns bons detalhes construtivos e uma evidente noção da importância do preceito. A figura 5.15 é um exemplo de um desses casos; trata-se de um nó de uma viga de piso que pertence a um edifício metálico executado há mais de 15 anos; neste caso o detalhe nº3 da figura 5.13 foi utilizado nos cantos reentrantes e apresenta um furo com um raio de 6 mm.



Figura 5.15 - Correto tratamento de entalhe reentrante encontrado em edifício existente.

Além dos perfis laminados, também a chaparia tem de ser executada com o mesmo tipo de detalhes construtivos. Por vezes, alguns lotes destas peças de “pequena dimensão” podem eventualmente ser encontrados sem estes pormenores (ver figura 5.16 e 5.17). Tratam-se de situações excepcionais e surgem quase sempre por falta de cuidado aquando da preparação do trabalho; alerta-se que a importância de formação é fundamental para se garantir boas soluções técnicas, a adoção destes detalhes é apenas possível se o departamento técnico que os desenvolve (na fase a montante da fabricação) tiver perfeito conhecimento das boas regras de execução. A organização deverá criar e/ou atualizar instruções de trabalho com as recomendações da presente norma pois apenas assim se poderão desenvolver e potenciar bons detalhes construtivos. Neste caso específico, apenas uma reparação com base na solução do tipo 3 (figura 5.13) pode evitar a destruição da peça ou das peças não conformes.

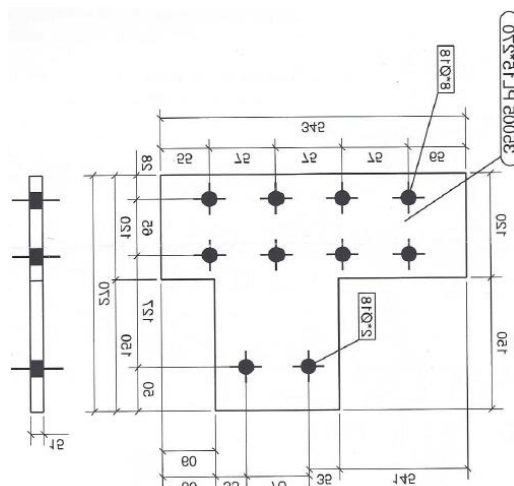


Figura 5.16 - Desenho de corte com incorreto tratamento de cantos reentrantes.



Figura 5.17 - Peça produzida com desenho de corte da figura 5.16

### 5.3.4 Outros requisitos

De seguida, na tabela 5.3, pode-se visualizar a listagem de outras exigências impostas pela norma NP EN1090-2, consoante a classe de execução da estrutura.

Tabela 5.3 – Outros requisitos

	CLASSE EXECUÇÃO	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÕES
1	EXC1 e EXC2	Para as classes de execução EXC1 e EXC2, os furos podem ser executados por punçoamento sem rectificação, salvo especificação em contrário.	Aplicável
2	EXC3 e EXC4 em $t \geq 3$ mm	Para espessuras superiores a 3 mm em classes de execução EXC3 e EXC4, o punçoamento sem rectificação não é permitido, nestes casos a furação deve ser punçoada pelo menos 2mm inferior ao diâmetro definitivo.	Aplicável *
3	Para todas as classes de execução $t \leq 3$ mm	Para chapas e barras de espessuras inferiores a 3mm, a furação final pode ser obtida por punçoamento sem reservas e de uma só vez com o diâmetro definitivo.	Aplicável
4	Todas as classes de execução	O escareamento de furos normalizados circulares, para parafusos de cabeça de embeber ou rebites, deve ser feito após a furação.	
5	Todas as classes de execução	Para componentes enformados a frio e chapas de revestimento, os furos ovalizados podem ser executados por punçoamento numa só operação, por punçoamento consecutivo, ou ligando dois furos punçoados ou perfurados através de serra de tico-tico	
6	Todas as classes de execução	Os furos ovalizados longos devem ser executados por punçoamento numa só operação ou por perfuração ou punçoamento de dois furos e finalizados manualmente com corte térmico, salvo especificação em contrário.	

Verifica-se que todos os pontos referidos no quadro anterior são normalmente cumpridos. Constata-se também que o cumprimento do ponto 2 é alvo de verificação assídua nas auditorias para marcação CE; trata-se de um procedimento de grande importância e surge com o objetivo nítido de eliminar todas as zonas de dureza elevada e evitar potenciais roturas frágeis em serviço (já referido na clausula 4.1.3 deste trabalho). Contudo, a retificação da furação realizada através de punçoamento exige sempre um grande trabalho adicional, com perda de tempo e rendimento no processo produtivo. Crê-se que este motivo pode fomentar alguma fuga e incumprimento por parte da indústria metalomecânica em geral.



## 6. SOLDADURA

### 6.1. Introdução

No seio da NP EN1090-2 e com a mais elevada relevância, surge então o capítulo 6 que trata o tema “soldadura” (ver figura 6.1). Por se tratar de um processo que visa a união localizada de materiais, assume-se de elevada complexidade e como tal, a norma encara-o de forma rigorosa e exigente. Após a sua leitura e análise, entende-se que a abordagem é transversal e complexa. Nesta norma, temas essenciais tais como planos de soldadura, processos de soldadura, procedimentos de soldadura, qualificação de soldadores /operadores de soldadura e critérios de aceitação são abordados de forma clara, concisa e são essenciais para regular o sector.



Figura 6.1 – Soldadura

### 6.2. Plano de soldadura

O plano de soldadura tem um papel fulcral na eficácia do processo e procedimento de soldadura; o ponto 7.2.1 da NP EN1090-2 define que este deve ser elaborado de acordo com a parte relevante da EN ISO 3834, sendo que a parte 2 (CEN, 2005), “Requisitos de qualidade de nível elevado”, deve ser utilizada para obras de classe de execução EXC3 e EXC4; a parte 3 (CEN, 2005), “Requisitos de qualidade Standard”, deve ser adotada para obras com classes de execução EXC2, e a parte 4 (CEN, 2005), “Requisitos de qualidade elementar”, deve ser utilizada em classes de execução EXC1.

A tabela 6.1 apresenta de forma resumida as principais indicações da EN ISO 3834-3 (CEN, 2005), para uma situação de requisitos de qualidade Standard, ou seja, para classe de execução EXC2, pois é a mais utilizada no país.

Assunto	Requisito
Subcontratação	É necessário tratar como um fabricante para o produto, serviço ou atividade, no entanto a responsabilidade pela qualidade fica no subcontratante.
Soldadores e operadores de soldadura	É requerida a sua qualificação.
Coordenadores de soldadura	A coordenação da soldadura é requerida;
Pessoal de inspeção e ensaios	É requerida a sua qualificação.
Equipamento de produção e de ensaios	Têm de ser adequados e disponíveis para as atividades de preparação, execução, ensaio, transporte e elevação; Os equipamentos de segurança e vestuário de proteção são igualmente necessários.
Manutenção dos equipamentos	Requerida, com o fim de assegurar conformidade da produção, é recomendável ter os registos da manutenção.
Descrição do Equipamento produtivo	Requerida uma listagem.
Planeamento da produção	É requerido o planeamento da produção e é recomendado ter planos de produção documentados e registos.
Especificação dos procedimentos de soldadura	Requerida.
Qualificação dos procedimentos de soldadura	Requerida.
Teste dos lotes de consumíveis	Quando requerido.
Armazenagem e manuseamento dos consumíveis de soldadura	Requerido um procedimento interno, de acordo com as instruções do fabricante.
Armazenagem dos materiais de base	Identificação e proteção contra agressão ambiental.
Inspeção e teste, antes, durante e após soldadura	Requeridas.
Não conformidades e ações corretivas	Implementação de medidas de controlo, são requeridos procedimentos de reparação ou retificação.
Calibração ou validação dos equipamentos de medição, inspeção e ensaio	Quando requerida.
Identificação ao longo da produção	Quando requerida.
Rastreabilidade	Quando requerida.
Registos da qualidade	Quando necessários.

Baseada na EN ISO 3834-3 (CEN, 2005), surgem então diversos “Planos de Inspeção e Ensaio” semelhantes aos exemplos apresentados na figura 6.2, que são matrizes personalizadas e adaptadas à organização da empresa onde se pode verificar o procedimento de controlo no antes, no durante e no após soldadura. Estes planos identificam as atividades presentes durante os três momentos da operação de soldadura e indicam as normas regulamentadoras de cada uma delas. Neles estão descritos igualmente os critérios de aceitação, os vários intervenientes e a responsabilidade de cada um deles, ou seja, define-se quem faz, como faz, onde faz, o nível e o tipo de certificado necessário para a execução.

## PLANO DE CONTROLO DE SOLDADURA

OPERAÇÃO	TIPO DE SOLDADURA	FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM	PARÂMETRO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	MÉTODO DE ENSAIO	REGISTOS	RESPONSÁVEL	
Soldadura	Topo a topo	Todas as peças soldadas	Regularidade dos cordões	Cordão homogéneo e regular	Inspeção visual	Identificação da peça com número de soldador. Registo no Imp 751.09	Soldador	Aju: n
			Defeitos do cordão de soldadura	Ausencia de defeitos (bordos queimados, fissuras, crateras, poros, cordão insuficiente)	Inspeção visual		Soldador	Aju: n
		1 em cada <b>Nt</b> conjuntos soldados. (1)	Defeitos do cordão de soldadura	Ausencia de defeitos (fissuras, poros)	Líquidos penetrantes	Registo Imp 751.10	Encarregado Soldadura	Aju: nece: te
		De acordo com requisito acordado com o cliente	Defeitos do cordão de soldadura	Ausencia de defeitos (fissuras, poros, colagens)	Partículas Magnéticas	Registo Imp 751.10	Entidade externa	Aju: n
		De acordo com requisito acordado com o cliente	Defeitos do cordão de soldadura	Ausencia de defeitos (fissuras, poros, penetração parcial)	Radiografia	Registo Imp 751.10	Entidade externa	Aju: n
		De acordo com requisito acordado com o cliente	Defeitos do cordão de soldadura	Ausencia de defeitos (fissuras, poros, penetração parcial)	Ultra-sons	Registo Imp 751.10	Entidade externa	Aju: n
	Ângulo	Todas as peças soldadas	Regularidade dos cordões	Cordão homogéneo e regular	Inspeção visual	Identificação da peça com número de soldador. Registo no Imp 751.09	Soldador	Aju: n
			Defeitos do cordão de soldadura	Ausencia de defeitos (bordos queimados, fissuras, crateras, poros, cordão insuficiente)	Inspeção visual		Soldador	Aju: n
		1 em cada <b>Na</b> conjuntos soldados. (1)	Defeitos do cordão de soldadura	Ausencia de defeitos (fissuras, poros)	Líquidos penetrantes	Registo Imp 751.10	Encarregado Soldadura	Aju: nece: te
		De acordo com	Defeitos do cordão	Ausencia de defeitos	Partículas	Registo	Entidade	Aju: n

Figura 6.2 – Excerto de plano de soldadura

Estes planos de soldadura são normalmente elaborados pelos fabricantes de estruturas, fazem parte integrante das suas pastas de qualidade e são de grande utilidade, na medida em que permitem uma leitura breve, geral e resumida sobre o funcionamento da organização neste ponto tão específico. Permitem ainda conhecer de forma rápida e ordenada todas as atividades, operações e ações que têm em vista garantir os níveis de qualidade especificados para o produto/serviço.

A soldadura é na realidade um processo muito especial e o sucesso da sua aplicação depende de um controlo eficaz dos seus procedimentos e de uma organizada gestão de pessoal. Um controlo e uma gestão que devem ser devidamente adaptados aos requisitos da norma EN ISO 3834, apresentando-se esta como específica na questão da soldadura de materiais metálicos. Constata-se que a implementação da norma EN ISO 3834, juntamente com as restantes especificações da NP EN 1090-2, não foi difícil e não veio criar grandes conflitos, nem constrangimentos dentro das organizações, isto porque uma grande parte das empresas metalomecânicas já possuía políticas de qualidade do tipo “ISO 9001” previamente implementadas. A NP EN ISO 9001:2008 (IPQ, 2010) é uma norma de gestão de qualidade que, embora não sendo equivalente à ISO 3843-2 (CEN, 2005), aborda alguns dos seus pontos mais importantes. A análise do setor mostra que as metalomecânicas com sistemas de qualidade implementados demonstram estar mais bem preparadas para as novas mudanças e que conseguem introduzir mais facilmente a ISO 3834, alcançando o seu cumprimento de forma muito mais diligente e com menores custos associados.

### 6.3. Processos de soldadura mais utilizados

A cláusula 7.3 da NP EN 1090-2 indica que as soldaduras devem ser executadas por processos definidos na norma EN ISO 4063 (CEN, 2010) e que os processos seguintes constam da listagem aprovada, pois são provavelmente os processos mais utilizados no sector da construção metálica:

- i. O processo MIG/MAG [soldadura com proteção gasosa inerte/ativa] é referenciado pelo código 131/135 a 138 (ver figuras 6.3 e 6.4);



Figura 6.3 - Equipamento para soldadura com o processo MIG/MAG



Figura 6.4 - Aspeto e morfologia do cordão obtido através do processo MIG/MAG

- ii. O processo SER [elétrodos revestidos] surge por sua vez referenciado pelo código 111 (ver figuras 6.5 e 6.6);



Figura 6.5 - Equipamento para soldadura com o processo SER



Figura 6.6 - Aspeto e morfologia do cordão obtido através do processo SER

- iii. O processo SAS [soldadura por arco submerso] é definido pelo código 121 a 125 e surge ilustrado nas figuras 6.7 e 6.8, que por sua vez foram retiradas de um manual de formação do ISQ durante o “Curso de Coordenação de Soldadura para a EN 1090 – Nível Específico e Básico” (ISQ, 2014).

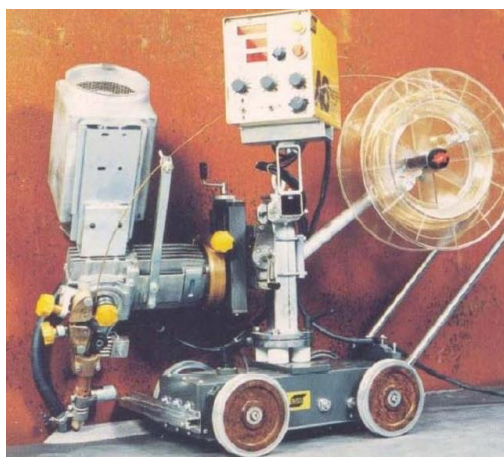


Figura 6.7 - Equipamento para soldadura com o processo SAS



Figura 6.8 - Aspeto e morfologia do cordão obtido através do processo SAS

A informação presente no quadro abaixo (tabela 6.2) foi retirada do manual do ISQ acima referido e de uma página de internet (<http://cr4.globalspec.com/thread/8751/Deposition-Rates>); ele permite apresentar de forma resumida, as principais vantagens e desvantagens de cada um destes processos:

Tabela 6.2 – Principais vantagens e desvantagens dos processos SER/MIG-MAG/SAS			
PROCESSO	SER	MIG-MAG	SAS
APLICAÇÃO	Maioria dos metais;	Todos os metais;	Maioria dos metais;
EQUIPAMENTOS	Equipamentos simples e económicos;	A dimensão do equipamento e dos gases de proteção são uma limitação do ponto de vista da mobilidade;	Equipamento complexo;
POSIÇÃO	Todas as posições e possibilita boa acessibilidade e mobilidade dentro de espaços confinados;	Todas as posições exceto teto;	Soldadura ao baixo e na horizontal;
PROTECÇÃO DO BANHO	É feita pela proteção gasosa que se obtém através da decomposição do revestimento do eletrodo;	É feita através de um gás ativo ou inerte motivo pelo qual não deve ser utilizado no exterior, processo altamente sensível a correntes de ar;	É feita através da utilização de fluxo que cobre o arco elétrico protegendo-o da atmosfera;
CONSUMIVEIS / ESCÓRIA	Processo manual e utiliza eletrodos com comprimentos máximos de 230 a 460 mm; Apresenta escória;	Processo manual /automatizável e utiliza eletrodos contínuos; Sem escória;	Processo automático e utiliza eletrodos contínuos; Apresenta escória;
RENDIMENTO	A troca de consumível e a limpeza da escória traduz-se num baixo rendimento ( $\leq 3\text{kg/h}$ ) e um fator de marcha de 30%;	Permite uma boa taxa de depósito (2 a 10 kg/h) e um fator de marcha de 60%;	Grande capacidade de depósito e de penetração, taxa de depósito superior a 5 a 14 kg/h com um fator de marcha de 100%

Resumidamente, constata-se que estes 3 processos são normalmente utilizados no dia-a-dia da indústria, eventualmente em paralelo e de acordo com o tipo de necessidade. As vantagens individuais de cada um deles torna-os únicos em determinada situação e, devidamente intercalados, permitem alcançar ótimos resultados.

Os processos MIG/MAG e SAS são altamente vantajosos para serem utilizados em oficina dada a significativa taxa de depósito e o bom fator de marcha que apresentam; por sua vez o SER ganha pontuação extra quando necessitamos de intervencionar em locais de difícil acesso e quando necessitamos executar soldaduras em estaleiro ao ar livre.

Por forma a garantir a fiabilidade destes equipamentos, é necessário garantir uma eficaz manutenção e conservação com base em planos internos devidamente integrados no sistema de qualidade da empresa.

De uma forma geral, recomenda-se que as linhas de distribuição de energia estejam adequadamente balanceadas, uniformemente distribuídas pelos postos de soldadura e os bons isolamentos elétricos devem ser garantidos; já a secção dos cabos deve estar dimensionada em função da intensidade máxima a utilizar, do fator de marcha utilizado e da distância entre a fonte e o local de trabalho; as massas utilizadas deverão estar bem fixas e apresentar bons contactos.

De forma particular, além das verificações dos medidores de caudal (caudalímetros) do gás e das habituais sopragens da poeira, é também fundamental a utilização de um multímetro devidamente calibrado com o intuito de confirmar os valores indicados de intensidade (amperagem) e de voltagem apresentados no *display* do equipamento, bem como a sua compatibilidade com os procedimentos de soldadura aprovados (ver figura 6.9). Estas verificações são correntes na indústria metalomecânica e são essenciais para minimizar o número de avarias em serviço e para propiciar condições adequadas para a execução das soldaduras.



a) Valores apresentados no display do equipamento



b) Verificação dos valores com um multímetro

Figura 6.9 - Utilização de multímetro para confirmação dos valores do display de equipamento

## 6.4. QPS – Qualificação dos procedimentos de soldadura

A qualidade de uma junta soldada é extremamente influenciada pelo procedimento de soldadura; a qualificação dos procedimentos de soldadura (QPS) tem por principal objetivo demonstrar que o processo de soldadura é adequado para preencher os requisitos de qualidade definidos na especificação técnica de projeto. A aprovação dos procedimentos de soldadura é um dos fatores mais importantes na garantia da qualidade de uma construção soldada e demonstra a garantia das suas propriedades mecânicas e físicas.

De acordo com a NP EN 1090-2, a soldadura deverá ser executada com procedimentos qualificados utilizando uma especificação de procedimento de soldadura (EPS) de acordo com a parte relevante da EN ISO 15609-1 (CEN, 2004); esta norma define a informação e conteúdo mínimo que deve constar na Especificação de Procedimento de Soldadura (EPS) ou especificação de procedimento de soldadura preliminar (EPSp). As EPS/EPSp são documentos elaborados internamente, conforme exemplificado na figura 6.10 e apenas podem ser utilizadas na produção após qualificação. Os valores adotados na elaboração destes documentos surgem, na grande maioria das vezes, em função da experiência acumulada da equipa de soldadura e nos valores habitualmente utilizados; a validação surge depois de ensaio a provete e apenas após verificação de todos os requisitos de determinada norma.

IT 751.4 Especificação de soldaduras MAG  
Junta Topo a Topo – Aço ao carbono

Soldaduras por penetração total				
Tipo de Soldadura	Desenho da junta e símbolo	Sequência dos passes de soldadura		
Em V simples com cordão de confirmação				

Parâmetros de Soldadura	Passes			
	Raiz	Enchimento	Acabamento	Confirmação
Processo de soldadura	138	138	138	138
Posição da soldadura	Todas	Todas	Todas	Todas
Diâmetro do material de adição	1,2	1,2	1,2	1,2
Intensidade Corrente (A) / Tensão (V)				
Esp. < 5 mm	60-120 / 16-18	60-140 / 16-19	60-140 / 16-19	60-140 / 16-19
5mm<math>\leq</math>Esp. < 10mm	140-170 / 21-23	150-180 / 22-24	160-180 / 22-24	160-180 / 22-24
10mm<math>\leq</math>Esp. < 15mm	180-210 / 24-26	180-210 / 24-26	180-210 / 24-26	180-210 / 24-26
Esp. >= 15 mm	210-230 / 26-29	210-230 / 26-29	210-230 / 26-29	210-230 / 26-29
Corrente / Polaridade	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP
Velocidade do fio (m/min)				
Esp. < 5 mm	3-4,5	3-4,5	3-4,5	3-4,5
5mm<math>\leq</math>Esp. < 10mm	5-6	5-6,5	5-6,5	5-6,5
10mm<math>\leq</math>Esp. < 15mm	6,5-8	6,5-8	6,5-8	6,5-8
Esp. >= 15 mm	8-9	8-9	8-9	8-9
Classificação material de adição	EN ISO 17632-A T422MC/M1H5	EN ISO 17632-A T422MC/M1H5	EN ISO 17632-A T422MC/M1H5	EN ISO 17632-A T422MC/M1H5
Designação comercial	FLUX CORED WIRE MX - 100T KOBELCO	FLUX CORED WIRE MX - 100T KOBELCO	FLUX CORED WIRE MX - 100T KOBELCO	FLUX CORED WIRE MX - 100T KOBELCO

Pré-aquecimento	≥ 10°C	Gás protetor	Designação	Tipo de gás	Grupo	Débito
Temperatura entre passes	≤ 250°C					
Tratamento térmico	-					

Gás protetor	Designação	Tipo de gás	Grupo	Débito
	CORGON 18	EN 439-M21 ISO 14175:2008	-	15 L/min

**Técnica Operatória**  
Este processo de soldadura efetua-se da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda com a tocha fazendo um ângulo aproximado de 60° a 70° em relação à superfície a soldar. Utiliza-se corrente contínua com o bico de contacto ligado ao polo positivo.

Figura 6.10 - Exemplo de uma EPS preliminar (EPSp) elaborada internamente dentro da organização (Fametal, 2012)

Conforme se ilustra na tabela 6.3, vários métodos de qualificação de procedimentos de soldadura são sugeridos pela NP EN 1090-2:

- i. O ensaio para “Consumíveis para soldadura testados” definido na EN ISO 15610 (CEN, 2003) é uma das opções, mas está limitada à utilização de determinados materiais de adição. Este método prevê que uma soldadura realizada com materiais de adição previamente testados e aprovados (por entidade competente) e de acordo com as recomendações do fabricante, permitem produzir soldaduras adequadas para simples trabalhos de fabricação, sem a necessidade testes adicionais.
- ii. Utilização de “experiência prévia” conforme previsto na EN ISO 15611 (CEN, 2003) é aplicável somente no caso de produções onde o fabricante tem larga experiência e limita as suas gamas de aprovação apenas para juntas e materiais onde essa experiência esteja perfeitamente comprovada; ou seja, se o mesmo procedimento de soldadura tiver sido utilizado satisfatoriamente na fabricação soldada durante muito tempo, pode-se supor que as soldaduras produzidas são aceitáveis.
- iii. O ensaio de soldadura padrão previsto na EN ISO 15612 (CEN, 2004) é um método muito semelhante ao “Ensaio de procedimento de soldadura” mas apresenta grande restrição relativamente às gamas de aprovação. Este método baseia-se na utilização de procedimentos aprovados e previamente adquiridos a autoridades respeitáveis; devem ser utilizados em materiais que são relativamente fáceis de soldar, como aços simples ao carbono e aços inoxidáveis austeníticos. Este método poderá ser ideal para organizações que não desejam envolver-se com a qualificação de seus próprios procedimentos.
- iv. O ensaio de pré-produção EN ISO 15613 (CEN, 2004) é um método apenas aplicável a grandes produções em série; a montante da fabricação, deverá ser ensaiada numa peça igual à que vai ser produzida em série e exatamente sob as mesmas condições; neste método, as gamas de produção são muito restritivas.
- v. O ensaio de procedimento de soldadura definido pela EN ISO 15614-1 (CEN, 2004) é o método mais conhecido de todos e amplamente utilizado para qualificar os procedimentos de soldadura. Este método requer a soldadura de um provete de teste que representa a soldadura de produção; esse provete será submetido a uma variedade de testes específicos para assegurar que as propriedades da soldadura são aceitáveis. Trata-se do método mais versátil de todos porque permite uma maior gama de aplicações e aprovações; sendo aplicável a obras de todas as classes de execução, impõe-se como o favorito no mercado nacional.



Tabela 6.3 - Métodos de qualificação de procedimentos de soldadura pelos processos 111,114,12,13 e 14

Método de qualificação		EXC 2	EXC 3	EXC 4
Ensaio de procedimento de soldadura	EN ISO 15614-1	X	X	X
Ensaio de pré-produção	EN ISO 15613	X	X	X
Procedimento de soldadura padrão	EN ISO 15612	X <sup>a</sup>	-	-
Experiência prévia	EN ISO 15611	X <sup>b</sup>	-	-
Consumíveis para soldadura testados	EN ISO 15610			
X Permitido - Não permitido				
<sup>a</sup> Apenas para materiais ≤ S 355 e apenas para soldadura manual ou parcialmente mecanizada. <sup>b</sup> Apenas para materiais ≤ S 275 e apenas para soldadura manual ou parcialmente mecanizada.				

Todo o processo de soldadura deve ser sempre executado em condições adequadas e dentro da faixa de validade da qualificação; é fundamental assegurar permanentemente que os limites e as gamas de qualificação permanecem intactos e inalterados durante o processo e que as variáveis essenciais são sempre cumpridas.

Controlar as posições de soldadura, verificar das dimensões do material, os certificados dos materiais (aço e consumíveis), o tipo de corrente, a entrega térmica e a temperatura, etc. são rotinas habituais e têm de ser sempre asseguradas pelo executante ou pelo coordenador. A modificação das variáveis essenciais exige nova requalificação, desta forma, a gestão dos recursos materiais e humanos revela-se cada vez mais fundamental na garantia de qualidade do processo.

A EN ISO 15614-1 (CEN, 2004) além de definir o tipo de provete de teste, define igualmente a sua geometria, assim como os ensaios destrutivos e não destrutivos que devem ser executados na sua avaliação e qualificação; define também a localização exata de onde deverão ser retirados os provetes de ensaio, as gamas de qualificação e as variáveis essenciais na qualificação do procedimento de soldadura.

Como exemplo, apresenta-se na figura 6.11 um dos provetes utilizados para a qualificação de um procedimento de soldadura para juntas de topo a topo (BW- Butt Weld) com o processo nº138 (MAG) e em modo multipasse.

Neste caso específico, e de acordo com o quadro 5 da EN ISO 15614-1 (figura 6.12), o ensaio com um provete de 12 mm de espessura assegura e valida uma gama de espessuras de 3 a 2t, ou seja de 3 a 24 mm.



Figura 6.11 - Provete utilizado para teste de soldadura em posição PC

Quadro 5 — Domínio da qualificação para a espessura do material e espessura do metal depositado para soldaduras topo a topo

Dimensões em milímetros

Espessura do corpo de prova $t$	Domínio da qualificação	
	Mono passe	Multi passe
$t \leq 3$	0,7t a 1,3t	0,7t a 2t
$3 < t \leq 12$	0,5t (3 min.) a 1,3t <sup>a</sup>	3 a 2t <sup>a</sup>
$12 < t \leq 100$	0,5t a 1,1t	0,5t a 2t
$t > 100$	Não aplicável	50 a 2t

a quando são especificados requisitos de impacto o limite superior da qualificação é de 12 mm, excepto se tiverem sido realizados ensaios de impacto

Figura 6.12 - Domínio da qualificação em função da espessura do material em soldaduras topo a topo

Neste caso específico, uma entidade externa certificadora deverá sujeitar os corpos de prova aos ensaios definidos no quadro 1 da EN ISO 15614-1 (figura 6.13) e analisar os resultados obtidos, e após comprovação da conformidade do processo obtém-se o registo de qualificação de procedimento de soldadura “WPQR”.

Quadro 1 — Inspeção e ensaio dos corpos de prova

Corpo de prova	Tipo de ensaio	Plano de ensaios	Nota
Junta topo a topo com penetração total – Figura 1 e Figura 2	Visual	100 %	-
	Radiográfico ou ultra-sons	100 %	a
	Detecção de fissuras superficiais	100 %	b
	Ensaio de tracção transversal	2 provetes	-
	Ensaio de dobragem transversal	4 provetes	c
	Ensaio de impacto	2 conjuntos	d
	Ensaio de dureza	requerido	e
	Exame macroscópico	1 provete	-

Figura 6.13 - Plano de ensaios a executar numa junta topo a topo com penetração total

Na figura 6.14 pode-se verificar o “WPQR” obtido após a análise do provete acima referido; é possível verificar a referência à norma EN ISO 15614-1 e aos domínios de validade da qualificação.

**REGISTO DE QUALIFICAÇÃO DE  
PROCEDIMENTO DE SOLDADURA**

WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD FORM (WPQR)

PEDNoBo1155

ISO 15614-1:2004 + A1: 2008 + A2: 2012

N.º: PTC14.03845.5046

Construtor (Manufacturer):

Morada (Address):

Data de execução (Date of Welding): 28-07-2014

DOMÍNIO DA VALIDADE DA QUALIFICAÇÃO (QUALIFICATION- RANGE OF APPROVAL)	
1- Processo de soldadura (Welding Process):	138
2- Tipo de junta e soldadura (Type of joint and weld):	BW; FW
3- Material de Base (Parental material group(s) and sub group(s)):	1 <sup>a</sup> -1
4- Espessura do material base (Parental Material Thickness) (mm):	BW and FW: 3 to 24
5- Espessura do metal depositado (Weld Metal Thickness) (mm):	3 to 24
6- Espessura Máxima (Throat Thickness) (mm):	No restriction
7- Único Passo / Vários Passos (Single run / Multi run):	Multi Run
8- Diâmetro exterior do tubo (Outside Pipe Diameter) (mm):	---
9- Designação do Material de Adição (Filler Material Designation):	EN ISO 17832 – A - T42 2 M M/C 1 H5
10- Marca do Material de Adição (Filler Material Make):	---
11- Tamanho do Material de Adição (Filler Material Size):	Ø Over or less since that: 0.75 Qcal. ≤ Q ≤ 1.25 Qcal.
12- Design. de Gas de proteção/ Fluxo (Designation of Shielding Gas/Flux):	M21 (EN ISO 14175)
13- Designação de Purga (Designation of Backing Gas):	---

Figura 6.14 - Exemplo da WPQR

No estudo efetuado, a indústria metalomecânica mostrou-se pró-ativa neste campo e nota-se que não foi claramente apanhada desprevenida relativamente a esta exigência e a esta norma; aliás, encara a qualificação de procedimentos há vários anos e reconhece muito bem a sua importância.

Ainda assim, perante os elevados custos na execução destes “WPQR” e perante a elevada quantidade de “variáveis essenciais” existentes e do seu tão curto espaço de manobra, não se pode confirmar que toda a soldadura executada é realmente absorvida pelos procedimentos qualificados existentes dentro de cada uma das metalomecânicas.

De facto, os limites são estritos e qualquer pequena alteração tem de ser bem refletida dado que pode muito facilmente inviabilizar a adoção de um determinado procedimento; neste momento, uma simples mudança na posição de soldadura ou a utilização de um mono passe em vez de um multipasse pode perfeitamente desrespeitar o procedimento existente.

Um outro exemplo que facilmente pode causar incumprimento e que se deve destacar, diz respeito à alteração na geometria do “chanfro”; o ponto 7.5.1.1 da NP EN 1090-2 indica que se a qualificação dos procedimentos de soldadura for realizada de acordo com a norma EN ISO 15614-1, com a EN ISO 15612 ou com a EN ISO 15613 a preparação da junta deverá respeitar o tipo de preparação utilizado no ensaio do procedimento de soldadura (WPQR).

Desta forma, a preparação das juntas durante a fabricação (figura 6.15) terá de ter exatamente a mesma forma e a mesma geometria que o tipo de junta utilizada no procedimento de soldadura (ver figura 6.16) e, qualquer alteração ou modificação adotada sai fora do domínio da validade e exige a execução de novos testes e procedimentos.

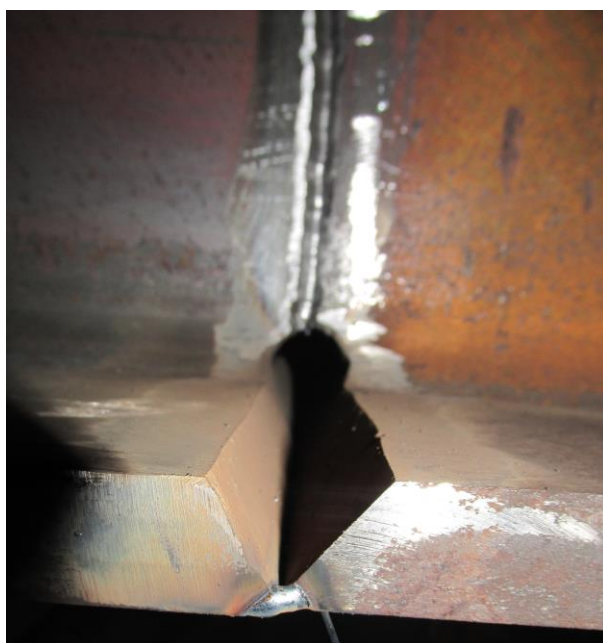


Figura 6.15 - Junta utilizada

**REGISTO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDADURA**  
WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD FORM (WPQR)

PEDNoBo1155      ISO 15614-1:2004 + A1: 2008 + A2: 2012      N.º: PTC14.03845.5046

**REGISTO DO ENSAIO DA SOLDADURA**  
(RECORD OF WELD TEST)

Construtor (Manufacturer): Ávaro Luis Soares Nunes (PF)  
Soldador (Welder's name): Nelson Sousa (PC)

Modo de transferência de Metal: Short circuiting transf.      N.º de ESP do Construtor: IT 751.4  
Tipo de Junta: BW      Posição de soldadura: PF / PC  
Método de preparação e Limpeza: Mechanical      Especificação do Material Base: 1.2  
Diâmetro exterior do Tubo (mm): ---      Espessura do Material (mm): 12

Preparação de Junta (Joint Design)	Sequência dos passes (Welding Sequences)
<p>Folga 2 mm; Ângulo de abertura de ± 60° Talão 2 mm</p>	

Passe (Run)	Condições de Execução		
	1	2	N
Processo soldadura (Welding process)	138	138	138
Tamanho Material adição (Size of Filler Material)	1,2	1,2	1,2
Corrente (Current) (A)	85	115	117
Tensão (Voltage) (V)	17,2	20,2	19,7
Tipo de Corrente / Polaridade (Current / Polarity)	DCEP	DCEP	DCEP
Velocidade alimentação do fio (Wire Feed Speed)	---	---	---
Velocidade de Avanço (Travel Speed) (mm/seg)	1,60	1,40	1,52
Entrega Térmica (Heat Input) (kJ/mm)	0,73	1,26	1,21
Transferência de Metal (Metal Transfer)	---	---	---

Designação do Material de adição (Filler Material Designation and Make): EN ISO 17632 - A - T42 2 M MIC 1 HS

Alguns tipos especiais de Cobrejunta (Any Special Beating or Drilling): ---

Gas/Fluxo (Shielding)	Proteção (Shielding)	Taxa de fluxo (Gas Flow Rate)
Proteção (Shielding): Ar 82% + CO2 18%	Proteção (Shielding): ---	Proteção (Shielding): 18l/min
Purga (Backing): ---	Purga (Backing): ---	Purga (Backing): ---

Tipodímetro do eletrodo de Tugesténio (Tungsten Electrode Type/Size)	Tratamento Térmico (Post-Welding)
Pormenores de Descarga da Raiz (Details of Root Chasing) (Raço)	Tratamento Térmico após soldadura (Post-weld heat treatment)
Temperatura de Pré-aquecimento (Preheat Temperature) (Preheat Temperature)	Tempo, Temperatura e Método (Time, Temperature, Method)
Temperatura de Interpassos (Interpass Temperature)	Taxa de Aquecimento e Arrefecimento (Heating and Cooling Rate)

Figura 6.16 - Qualificação de procedimento de soldadura

Confirma-se que as auditorias para marcação CE verificam sempre a existência das WPQR e da sua eventual evolução dentro da organização; constata-se que os principais procedimentos existem dentro das empresas e que se está a partir para a execução de outros mais específicos e mais personalizados. Nota-se que existe uma vontade de mudança no comportamento das organizações relativamente a este ponto e que as empresas estão fortemente empenhadas nesse salto evolutivo e enriquecedor; as entidades externas qualificadoras têm tido uma vez mais um papel fundamental em todo o processo; a informação que disponibilizam tem promovido significativamente o fortalecimento e o desenvolvimento do sector neste ponto tão específico.

## 6.5. Certificados qualificação de Soldadores / Operadores de soldadura

Uma empresa de fabricação de estruturas metálicas deve garantir a qualidade das soldaduras produzidas. Desse modo, torna-se essencial não só a execução e adequação dos procedimentos de soldadura, mas também assegurar o conhecimento e habilitação dos seus soldadores/operadores. A qualidade de uma junta soldada é influenciada pelas capacidades e competências do soldador, pois ele é responsável pela regulação de parâmetros de soldadura e pela deslocação manual da fonte de calor ao longo da junta. A garantia de qualidade deverá passar pela qualificação dos soldadores por forma a atestar a sua capacidade para manipular o eléctrodo, a tocha ou o maçarico sob determinadas condições; apenas desta forma se podem produzir soldaduras de qualidade aceitável e garantir os níveis de qualidade especificados para as juntas soldadas. Já o operador de soldadura apresenta-se como o responsável pela supervisão da execução da junta soldada e tem autonomia para fazer afinações durante a execução do processo, em caso de necessidade.

Relativamente aos soldadores, a norma NP EN 1090-2 refere a utilização da norma ISO 9606-1:2013 (CEN, 2013) [Qualification testing of welders - Fusion welding - Part 1: Steels] para a sua qualificação (figura 6.17); esta norma vem substituir a anterior EN 287-1 (CEN, 2011) [Qualification test of welders - Fusion welding - Steels] utilizada há vários anos pela indústria (figura 6.18).

**CERTIFICADO DE QUALIFICAÇÃO SOLDADOR**  
WELDER APPROVAL TEST CERTIFICATE

PEDNoBo1155 Certificado n.º: PTC14. 03855.5046

Nome do Soldador (Welder's Name): Manuel Lopes Rodrigues Foto (se requerido)  
(Photograph if required)

Tipo de Identificação (Type of Identification): B.I. nº 5524902

Data / Nacionalidade (Date / Place of Birth): 03-09-1963 / Portuguesa

Empresa (Company):

Especificação do Procedimento de Soldadura do Fabricante (Manufacturer WPS): IT 751.7

Designação (Designation): 111 P BW FM1 B t15 PF ss nb

Norma/Especificação (Code/Testing Standard): **ISO 9606-1:2012**

Conhecimentos Tecnológicos (Job Knowledge):  Verificado/Aceite /  Não Verificado (Not Tested)

	Detalhe do Exame (Test Piece)	Gama Aprovação (Range of Qualification)
Processo (Welding Process)	111	111
Modo de Transferência (Transfer Mode)	---	---
Tipo de produto (Plate or Pipe)	P	P; T; D ≥ 75 (PA); T; D ≥ 500 (PF)
Tipo de Junta (Type of Weld)	BW	BW
Material de Base (Parent Metal Group(s)/Subgroup)	1.1	N/A
Grupo do Material de Adição (Filler Metal Group(s))	FM1	FM1; FM2
Designação do Material de Adição (Designation)	B	Todos excepto C
Gás de Proteção (Shielding gas)	---	---
Auxiliares (Auxiliaries)	---	---
Corrente e Polaridade (Type of current and polarity)	DCEP	N/A
Esp. Material Base (Material Thickness) (mm)	15	≥3
Esp. Depositada (Deposited Thickness) (mm)	17	≥3
Diâmetro Ext. Tubo (Outside Pipe Diameter) (mm)	---	---
Posição de Soldadura (Welding Position)	PF	PA; PF
Condições de Execução (Weld Details)	ss nb	ss nb; ss mb; bs; ss gb; ss fb
Multi-Passe/Mono-Passe (Multi-layer/single layer)	---	---

Teste Suplementar em FW em conjugação com BW:  Verificado/Aceite /  Não Verificado (Not Tested)  
(Supplementary fillet weld test, completed in conjunction with a butt weld qualification)

Tipo de Controlo (Type of Test)	Realizado e Aceite (Performed and Acceptable)	Não Requerido (Not Required)	Examinador (Examiner) Nome (Name): Luis Martins Assinatura (signature): Data (date): 2014-07-28
Visual (Visual)	PTR14.05941.5046		Aprovado por (Approved by) Nome (Name): Luis Martins Assinatura (signature): Data de Emissão (date): 2019-01-30 Revalidação (Revalidation): 9.3 a Valido até (Valid until): 2017-07-27
Radiográfico (Radiography)	PTR14.04315.5046		
Partículas Magnéticas (Magnetic Particle)		X	
Líquidos Penetrantes (Dye Penetrant)		X	
Ultra Sons (Ultrasonic)		X	
Macro (Macro)		X	
Fratura (Fracture)		X	
Dobragem (Bend)		X	
Tração com Entalhe (Notch Tensile Test)		X	
Controlos Adicionais (Additional Control)		X	

Figura 6.17 - Certificado de “Qualificação de soldador” pela recente norma ISO 9606-1;

**CERTIFICADO DE QUALIFICAÇÃO DE SOLDADOR / OPERADOR DE SOLDADURA**

WELDER/WELDING OPERATOR APPROVAL TEST CERTIFICATE  
Nº PTC12.01231.5200

Designação designation: **EN 287-1 136** BW P 1.1 S t12 PC+ PF bs  
Especificação do Procedimento de Soldadura do Fabricante manufacturer WPS:  
Nome do Soldador welder's name: **Manuel de Sousa Baltazar**  
Tipo de Identificação type of identification: **CC 07141367**  
Data e Local de Nascimento date and place of birth: **18/10/1964**  
Empresa company:  
Norma/Especificação code/testing standard: **EN 287-1:2011**  
Conhecimentos tecnológicos job knowledge: **Verificado / Não Verificado**

	Detalhes do exame weld test details	Gama Aprovação range of approval
Processo welding process	136	136
Chapa / tubo plate and pipe	T	T; P D ≥ 150 PA; PB
Tipo de juntas joint type	BW	BW
Material de Base parent metal group	1.1	1.1; 1.2; 1.4
Tipo material de adição filler metal type	S	S; M
Gás/Fluxo de protecção gas/flux	ISO 14175 21	ISO 14175 2-
Auxiliares auxiliaries	---	---
Esp. materiais base (mm) materials thickness	12	3 a 24
Diâmetro ext. tubo(mm) pipe outside diameter	---	---
Posição de soldadura welding position	PC+ PF	PA; PB; PC; PF(chapa)
Condições de Execução Weld Details	bs	ss mb; bs.

- Limitado à utilização de materiais de adição do mesmo grupo utilizados  
- Restricted for same group consumable material

- Limitado à utilização do equipamento -  
- Restricted for same type welding unit

Tipo de Controlo type of test	Realizado e aceite performed and acceptable	Não requerido not required	Examinador examiner: Nome e data
Visual visual	X		Name and date : A. Pérez 12/03/2012
Radiográfico radiography	PTR12.02639.5800		
Part.Magnéticas magnetic particle		X	
Liq.Penetrantes dye penetrant		X	
Ultra Sons ultrasonic		X	
Macro macro		X	
Fractura fracture		x	
Dobragem bend		X	
Controlos adicionais additional control		X	

Aprovado approved:

Nome, data e assinatura:

Name, date and signature: A. Pérez  
13/03/2012

Data de emissão date: 13/03/2012

Local place : Lisboa

Validade validity: 11/03/2014

Figura 6.18 - Certificado de “Qualificação de soldador” pela antiga EN 287-1”

Verifica-se que as grandes diferenças entre estas duas normas surgem maioritariamente ao nível das variáveis essenciais (grupos de materiais base, materiais de adição, espessuras dos provetes, modos de transferência, etc.) e também relativamente ao nível do tempo máximo para revalidação da qualificação; salienta-se que a qualificação de soldador é apenas válida desde que ele execute as soldaduras mantendo inalteradas as variáveis essenciais e dentro da gama de qualificação para a qual ela foi aprovada. O processo de soldadura, o tipo de produto (tubo ou chapa), o tipo de junta (junta topo a topo ou junta de canto), o grupo do material de adição, o tipo de material de adição, a dimensão do provete (espessuras e/ou diâmetros), as posições de soldadura e os detalhes de soldadura são exemplos das variáveis essenciais acima referidas e que se encontram previstas no ponto 5 da norma ISO 9606-1 (CEN, 2013).

O operador de soldadura é igualmente figura essencial no processo de soldadura, mas desta vez no modo automatizado/robotizado e a sua qualificação é regulamentada pela ISO 14732 (CEN, 2013) [Welding personnel-Qualification testing of welding operators and weld setters for mechanized and automatic welding of metallic materials].

Relativamente aos soldadores, constata-se que os novos certificados surgem efetivamente com a referência à nova norma ISO 9606-1 (CEN, 2013); neste campo notou-se que o mercado certificador, mesmo estando perfeitamente integrado com a norma EN 287-1 (CEN, 2011), no momento da alteração, não mostrou grandes fragilidades e não demorou muito tempo para absorver as mudanças, procedendo à transformação de forma relativamente rápida. Constata-se ainda que a importância e o conceito do “certificado de soldador” estão perfeitamente enraizados dentro da indústria e fazem parte integrante do seu processo de qualidade; salienta-se que em caso de subcontratação de serviços, estes certificados surgem também com referência à ISO 9606-1 e são apresentados de forma diligente, quase sempre sem grandes problemas a acrescentar. No caso dos processos de soldadura robotizados ou automáticos, os certificados de operador de soldadura surgiram igualmente sem problemas.

## 6.6. Controlo e rastreabilidade das juntas soldadas

Por forma a evitar constrangimentos e incumprimentos dentro da produção, a gestão de produção deverá ter uma “listagem de controlo”, devidamente atualizada com o registo de todos os seus soldadores e operadores de soldadura; nesta lista deverão constar os seus dados técnicos mais relevantes assim como as qualificações, as aptidões e as competências. A figura 6.19 apresenta um exemplo de uma dessas listagens. Estas tabelas, além de auxiliarem de forma ativa na verificação das capacidades e limitações de cada colaborador, permitem, simultaneamente, auxiliar na distribuição diária de funções e mostram a altura certa para se proceder à revalidação dos certificados.

Qualificação de soldadores													
Sector	Nº	Nome	Processo	Tipo de junta	IT	Chapa		Tubo		Nº passos	Qualificação externa	Nº certificado	
						Espessura	Posição	Diâmetro	Posição				
Fábrica	1	Manuel...	138	FW	IT 751.5	≥3	PA; PB	≥75	PA	st, ml	28-07-2014	PTC15.00256.5046	
	2	Eduardo...											
	3	Nelson...	138	FW	IT 751.5	≥3	PA; PB	≥75	PA	st, ml	28-07-2014	PTC15.00266.5046	
	4	Álvaro Nunes ...		111	BW	IT 751.7	≥3	PA; PF	≥75 ≥500	PA PF	-	28-07-2014	PTC14.03853.5046
				111	FW	IT 751.8	≥3	PA; PB	≥75	PA	st, ml	28-07-2014	PTC15.00258.5046
				111	BW	IT 751.7	≥3	PA; PF	≥75 ≥500	PA PF	-	28-07-2014	PTC14.03854.5046
				138	FW	IT 751.5	≥3	PA; PB	≥75	PA	st, ml	28-07-2014	PTC15.00257.5046
				138	BW	IT 751.4	≥3	PA; PF	≥75 ≥500	PA PF	-	28-07-2014	PTC14.03852.5046
	5	Manuel...		111	BW	IT 751.7	≥3	PA; PC	≥75	PA	-	16-12-2014	PTC15.00268.5046
				138	FW	IT 751.5	≥3	PA; PB	≥75	PA	st, ml	16-12-2014	PTC15.00267.5046
				138	BW	IT 751.4	≥3	PA; PF	≥75 ≥500	PA PF	-	28-07-2014	PTC14.03827.5046
6	Pedro...												
Montagem	7	Manuel...	111	FW	IT 751.8	≥3	PA; PB	≥75	PA	st, ml	28-07-2014	PTC15.00255.5046	
	8	Fernando...	111	BW	IT 751.7	≥3	PA; PF	≥75 ≥500	PA PF	-	28-07-2014	PTC14.03828.5046	
	9	António...	111	BW	IT 751.7	≥3	PA; PF	≥75 ≥500	PA PF	-	28-07-2014	PTC14.03829.5046	
	10	Manuel...	111	BW	IT 751.7	≥3	PA; PF	≥75 ≥500	PA PF	-	28-07-2014	PTC14.03855.5046	
	11	Vitor...	111	FW	IT 751.8	≥3	PA; PB	≥75	PA	st, ml	28-07-2014	PTC14.03856.5046	

Figura 6.19 - Exemplo de “Listagem de controlo de soldadores”

Internamente e por forma a garantir a rastreabilidade das soldaduras, deverão ser criados procedimentos de trabalho que permitam conhecer o historial e a proveniência de cada junta soldada. A indústria para atingir esse fim recorre, normalmente, a registos semelhantes ao apresentado na figura 6.20 para executar esse controlo; observando a figura 6.21 consegue-se verificar um outro método (por vezes até paralelo ao acima apresentado) em que se opta por recorrer ao punçoamento na peça soldada do número identificativo do soldador que a executou, garantindo assim uma marca permanente que acompanhará a peça até ao fim da vida em serviço.

**FAMETAL** CONTROLO DE EXECUÇÃO DE SOLDADURA

Obra N.º 4022 Cliente: \_\_\_\_\_ Local: \_\_\_\_\_

Guias de Entrada do Material de Adição		Guias de Entrada do Gás	
Electrodo Revestido Básico :		Gás para Soldadura MAG :	<u>Arg. Spolift</u>
Electrodo Revestido Rutílico :		Gás para Soldadura TIG :	
Fio Fluxado MAG :	<u>N9 362L</u>	Oxigénio :	
Electrodo Inox TIG :			

Execução da Soldadura					
Data	Número Soldador	Peças executadas	Método de soldadura (1)	Inspeção Visual Conforme	Observações
20/02/17	5	200, 201, 202	<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input checked="" type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
20/02/17	5	405, 207	<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input checked="" type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
20/02/17	8	301, 303	<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input checked="" type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
20/02/17	10	304	<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input checked="" type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
20/02/17	5	405, 407	<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input checked="" type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
20/02/17	4	420, 422	<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input checked="" type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
/ /	/ /		<input type="checkbox"/> EB <input type="checkbox"/> ER <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> TIG	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	

(1) - EB Electrodo Básico ER Electrodo Rutílico MAG Metal Active Gas TIG Tungsten Inert Gas

Figura 6.20 - Exemplo do registo do “Controlo de execução de soldadura”



Figura 6.21 - Exemplo de punçoamento do número identificativo do soldador numa peça soldada



## 6.7. Coordenador de soldadura

A “Coordenação de Soldadura” é talvez a grande novidade relativamente ao sector da soldadura, pois trata-se de uma figura vital no processo, com experiência comprovada e conhecimentos adaptados às diversas classes de execução, grupos de aços e espessuras.

O Coordenador de Soldadura deverá acompanhar o processo de fabricação soldada, implementando as boas regras de fabrico, maximizando a produtividade e minimizando as reparações. De acordo com as indicações do Instituto de Soldadura e Qualidade, as principais responsabilidades e tarefas do coordenador de soldadura passam por assegurar:

- a capacidade e a competência de todo o pessoal de soldadura e dos subcontratados;
- a adequabilidade dos equipamentos (Fontes de potencia, ferramentas, meios de elevação, etc.);
- o planeamento da produção (Verificação do tipo de qualificação de soldador, controlo de temperaturas, sequencias de montagem, etc.);
- a qualificação de procedimentos de soldadura (Verificação da adequabilidade do RQPS à obra em questão);
- as especificações dos procedimentos de soldadura;
- as instruções de trabalho;
- os consumíveis de soldadura (compatibilidade, condições de receção, identificação armazenamento e manuseamento);
- os materiais base (soldabilidade, rastreabilidade, identificação, certificados);
- as inspeções e ensaio antes /durante e depois da soldadura;
- a não conformidade e ações corretivas (EPS e RQPS para as reparações, Ensaio não destrutivo [END's] para correções);
- a calibração dos equipamentos (Planos de verificação, validação e calibração);
- a identificação e rastreabilidade (Rastreabilidade dos soldadores versus juntas soldadas);
- os registos de qualidade (certificados de soldador, planos de produção, arquivo de registos).

Como seria de prever, as exigências a este nível variam significativamente da classe de execução EXC1 para a EXC4. Desta forma apresenta-se de seguida a figura 6.22, que foi retirado da NP EN1090-2, e define resumidamente o nível de conhecimento do coordenador de soldadura em função da respetiva classe de execução.

EXC	Steels (Steel group)	Reference standards	Thickness (mm)		
			t ≤ 25 <sup>a</sup>	25 – t ≤ 50 <sup>b</sup>	t > 50
EXC 2	S235 – 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 <sup>c</sup>
	S420 – 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 <sup>d</sup>	C
EXC 3	S235 – 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	C	C	C
	S420 – 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
EXC 4	All	All	C	C	C

<sup>a</sup> Column base plates and endplates ≤ 50 mm  
<sup>b</sup> Column base plates and endplates ≤ 75 mm  
<sup>c</sup> For steels up to and including S275, level S is sufficient.  
<sup>d</sup> For steels N, NL, M and ML, level; S is sufficient.

Figura 6.22 - Exigências de formação dos coordenadores de soldadura

### i. EXC1

Para as empresas que trabalham na classe de execução EXC1 não existe necessidade de coordenador de soldadura.

### ii. EXC2

De acordo com a figura 6.22, verifica-se que para classe de execução do tipo EXC2 (mais comum no mercado nacional), se torna necessário um nível de conhecimento “S” (Standard) ou “B” (Básico), conforme os materiais e espessuras limite, e, desde que esteja comprovada a experiência do coordenador, não existe a obrigatoriedade de comprovativo de formação adicional.

Com o objetivo de fortalecer a experiência profissional e enriquecer os seus conhecimentos técnicos, foram disponibilizados no mercado cursos de 120 horas adaptados com supervisão da EWF (European Welding Federation); estes cursos mostram-se de grande utilidade, na medida em que fornecem aos formandos uma atualização e um *upgrade* nos seus conhecimentos e currículos, reforçando significativamente a confiança das equipas auditoras durante a marcação CE.

### iii. EXC3

Para classes de execução do tipo EXC3 e EXC4, as necessidades são claramente diferentes. Para essas situações é exigido o nível de conhecimento mais exigente e personalizado denominado por “C” (Compreensivo); nestes casos apenas a experiência profissional comprovada do coordenador não é suficiente e é exigido um certificado de formação especializada.

Constata-se que durante as auditorias para concessão/renovação da marcação CE, a capacidade e a competência do coordenador de soldadura são normalmente testadas e verificada pelas equipas auditoras; estas equipas abordam o coordenador ao longo de toda a visita com o intuito de compreender não apenas o seu nível de conhecimento, mas também o grau de comprometimento com a empresa. A presença e o acompanhamento da auditoria pelo coordenador de soldadura é uma exigência durante quase todo o processo; apenas desta forma se torna possível compreender se existe conhecimento suficiente sobre o funcionamento da organização além dos processos de soldadura em vigor.

O coordenador de soldadura passa a ser parte integrante do processo de marcação CE e passa a figurar no certificado de controlo de produção em fábrica. Um exemplo deste certificado pode ser observado na figura 6.23; neste exemplo é possível verificar que além de se identificar o tipo de aço, a classe de execução, o tipo de método (execução com projeto interno, execução conforme cliente., etc...), grau de preparação de superfície e tipo de processo de soldadura, etc. surge também evidenciado o nome do coordenador de soldadura responsável.

**SGS**

### EC Certificate of Factory Production Control

Certificado CE do Controlo de Produção em Fábrica

**1029 – CPR – PT15/05363**

**Annex 1**  
Anexo 1

**Product(s): Structures of steel.**  
Produto(s): Estruturas metálicas em aço.

<b>Product</b> <i>Produto</i>	<b>Welded steel structures</b>
<b>Steel Type</b> <i>Tipo de Aço</i>	S355 J2 according to EN 10025-2
<b>Standard</b> <i>Norma</i>	EN 1090-1:2009 + A1:2011
<b>Execution Class</b> <i>Classe de Execução</i>	EXC 1 and EXC 2
<b>Method of Declaration according A. 1 of EN 1090-1</b> <i>Método de Declaração segundo A1 da EN 1090-1</i>	Method 2
<b>Welding Process</b> <i>Processo de Soldadura</i>	111, 138
<b>Welding Coordination</b> <i>Coordenação de Soldadura</i>	Augusto Dinis
<b>Durability</b> <i>Durabilidade</i>	Surface treatment according to EN 1090-2 Surface preparation: P1 and P2 according to EN ISO 8501-3 Hot-dip galvanized surfaces according to EN ISO 1461 Painted surfaces according to EN ISO 12944-5

**CE**  
**1029**

Figura 6.23 - Exemplo de certificado de controlo de produção em fábrica com referência ao coordenador de soldadura

Como se pode verificar, o processo de marcação CE de um executante de estruturas para todas as classes de execução (exceto EXC1), apenas fica concluído com a existência comprovada de um responsável pela coordenação de soldadura.

## 6.8. Montagem para soldadura

Na cláusula 7.5.4 da NP EN 1090-2 encontra-se a “montagem para soldadura”; a norma neste ponto não se estende muito e de forma resumida indica que a montagem deverá ser realizada para que o posicionamento das juntas e a dimensão final se encontrem dentro das tolerâncias especificadas; deverão igualmente ser tomadas medidas adequadas em relação às deformações e à contração no arrefecimento. A fabricação de vigas treliça (figura 6.24) e de vigas de alma cheia (figura 6.25) de grande dimensão requer sempre uma atenção especial por parte dos fabricantes de estruturas, pois a elevada quantidade de juntas soldadas que estes tipos de construções apresenta exige cuidados acrescidos não apenas na fase de execução, mas essencialmente na fase projeto e de preparação de trabalho.



Figura 6.24 - Soldadura de uma “treliça” com dimensão de 24\*4m



Figura 6.25 - Soldadura de pilares de alma cheia com  $h=1\text{ m}$  e  $L=10\text{ m}$

A complexidade na fabricação de peças de grande dimensão e de grande rigidez aumenta significativamente, não apenas pela questão da deformação, mas também pelo aumento sucessivo de tensões internas instaladas durante o processo de soldadura. A previsão das deformações é uma tarefa difícil, e estas devem ser monitorizadas ao longo da execução da soldadura, procedendo às correções necessárias durante o processo. O tipo de processo e a sequência de soldadura das peças que constituem o conjunto devem ser previamente estudados, por forma a minorar o aparecimento de deformações e de tensões residuais; deve-se tentar reduzir e evitar o excesso de soldadura usando chanfros duplos e proceder a uma redução da entrega térmica.

A cláusula 7.5.4 da norma NP EN1090-2 remete ainda para o anexo E alguns detalhes orientadores para assemblagem de diagonais a cordas em perfis tubulares. O detalhe da figura 6.26 mostra um desses exemplos: neste caso específico deverá ser assumida uma pequena separação entre elas por forma a não existir sobreposição de cordões de soldadura. As figuras 6.27 a 6.29 mostram alguns exemplos de nós de treliças, executados em obras recentes.

Figura E.6 – Preparação da soldadura e ajuste para ligações de perfis tubulares em esquadria

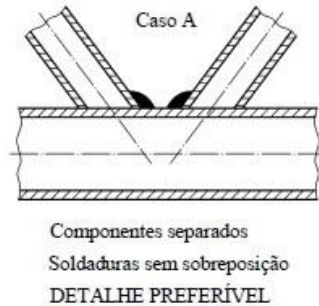


Figura 6.26 - Detalhe previsto no anexo E



Figura 6.27 - Exemplo de nó 1



Figura 6.28 - Exemplo de nó 2



Figura 6.29 - Exemplo de nó 2

Constata-se que o pormenor orientador para “anéis e bandas de apoio” também presente no anexo E da NP EN 1090-2 (ver figura 6.30) é também muito semelhante ao que se aplica regulamentemente (ver figura 6.31); estes “*backing strips*” são essenciais para assegurar a fusão completa no passe de raiz e providenciar um melhor controlo do arco e do banho de fusão

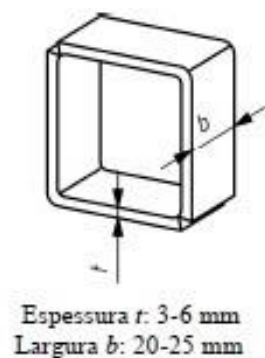


Figura 6.30 - Forma adequada para “*backing strips*”



Figura 6.31 - Aplicação prática de “*backing strips*”

### 6.8.1 Dispositivos auxiliares (Gabarits)

O tipo de estruturas acima referidas não apresenta, por norma, grande suscetibilidade para deformações dada a sua elevada rigidez. No entanto, esta falta de liberdade para o material deformar propicia um aumento significativo do nível de tensões internas instaladas. Ainda assim, dever-se-ão utilizar dispositivos auxiliares e elementos de fixação provisórios para minimizar as deformações das peças, efetuar pré-deformações na estrutura e efetuar todo o tipo de montagens para soldaduras rígidas necessárias para garantir a verificação das tolerâncias normativas.

Estes dispositivos auxiliares podem ser, por exemplo, “*Gabarits*”, que são modelos ou bases de montagem e são essenciais ao processo de fabricação, por forma a minimizar as montagens incorretas, permitir a minimização de deformações, controlar os empenos e as distorções e permitir simultaneamente o aumento da cadência produtiva. Estes devem ser estruturas simples, de fácil manipulação e, além disso, devem facilitar a pingagem e/ou soldadura. É especialmente importante que tenham rigidez suficiente e não se deformem ao longo do processo de fabrico, de modo a garantir as tolerâncias de fabrico regulamentares.

A figura 6.32 ilustra a aplicação prática de “*Gabarits*” de fixação de banzos e de alma.



a) Colocação dos banzos

b) Colocação da alma e pingagem

Figura 6.32 - Exemplo de *gabarits*

### 6.8.2 Pingagem

Os pingos de soldadura são pontos com alguns centímetros mecanicamente resistentes, de carácter permanente ou temporário, e, em qualquer um dos casos, deverão ser sempre realizados por pessoal competente e qualificado por forma a prevenir as deformações e os empenos das peças.

A pingagem surge referenciada na norma NP EN 1090-2, nas cláusulas 7.5.6 e 7.5.7, onde é estipulado que os seguintes pontos sejam cumpridos:

- i. quer sejam provisórios ou definitivos, devem ser executadas de acordo com um procedimento de soldadura qualificado (EPS);
- ii. no caso de pingos provisórios, estes devem ser posicionados para que possam ser facilmente removidos sem danificar a estrutura de aço definitiva;
- iii. os pingos que sejam incorporados na soldadura final deverão ser executados por soldador qualificado;
- iv. o comprimento mínimo do pingo deverá ser o menor valor entre quatro vezes a espessura da peça mais espessa ou 50 mm.

O cumprimento destes requisitos aquando da pingagem é essencial para garantir a estabilidade da peça durante toda a fase de montagem. A figura 6.33 apresenta um exemplo de uma pingagem de uma peça de grandes dimensões; esta pingagem foi realizada para unir dois perfis independentes, que unidos, passam a materializar a corda inferior de uma treliça; neste caso evidenciaram-se cordões com 50 mm de comprimento e foram realizados por pessoal qualificado. Ainda assim, evidencia-se que se trata de um procedimento pouco controlado e menos explorado pelas equipas auditoras, o que pode propiciar que a indústria em geral poderá não estar a cumprir a totalidade dos requisitos acima definidos de forma simultânea.

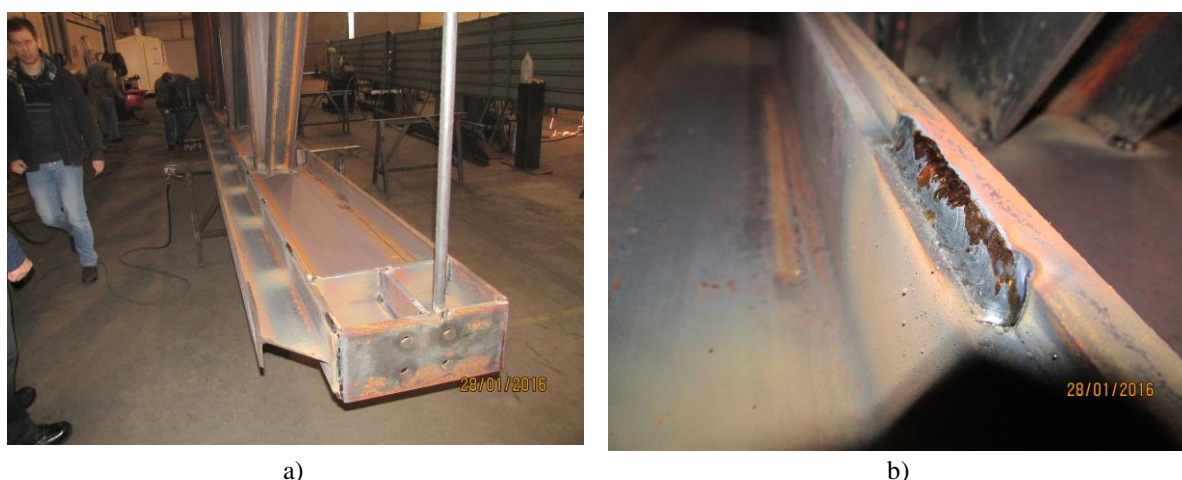


Figura 6.33 - Exemplo de pingagem de numa treliça de grandes dimensões

### 6.8.3 Elementos de fixação provisórios

A NP EN 1090-2 na cláusula 7.5.6 fala sobre elementos de fixação provisórios; estes elementos são muito utilizados na fase de montagem em fábrica, nomeadamente para a fase de soldadura; a fixação destes elementos requer cuidados especiais idênticos aos recomendados para a generalidade das soldaduras principais. Por exemplo, na soldadura de um desses elementos num aço suscetível à fissuração induzida pelo hidrogénio, todos os cuidados de aquecimento prévio devem cumpridos, mesmo não sendo uma soldadura principal.

Na figura 6.34 pode-se observar a montagem de vigas de alma cheia e a colocação de varões nervurados para garantir uma altura e uma esquadria uniforme ao longo de todo o comprimento da secção. Já na figura 6.35 pode-se observar a montagem em fábrica de uma viga treliça de grandes dimensões e a colocação de perfil tipo HE nos extremos, para impedir que estes se deformem após a soldadura, garantindo assim uma altura constante da viga.



Figura 6.34 - Colocação de varões nervurados ao longo do perfil de alma cheia



Figura 6.35 - Colocação de perfis tipo HE nos extremos de treliça metálica

Diz a norma que a desmontagem destes elementos provisórios não deverá danificar a estrutura em aço definitiva e não deverá ser feita por processos que possam deixar defeitos na superfície das chapas (arrancamentos de material ou fissuras).

Constata-se que estes elementos provisórios são muito utilizados pela indústria, dado que se mostram essenciais para controlar as deformações globais dos elementos durante a sua fabricação. Nas situações de classe de execução tipo EXC1 e EXC2 estes elementos são normalmente removidos no final por corte seguidos de alisamento e de controlo através de inspeção visual. No entanto, não foi possível confirmar que a utilização de outros END complementares seja prática corrente na generalidade das organizações.



#### 6.8.4 Controlo das deformações em soldadura

As tensões e as deformações são provocadas pela aplicação da soldadura, as quais surgem por efeito da contração transversal e longitudinal das juntas soldadas durante o seu arrefecimento. Estas contrações têm como consequência direta distorções angulares conforme se apresenta na figura 6.36 e 6.37.

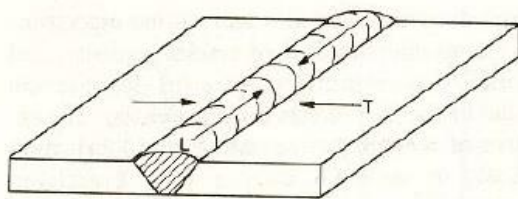


Fig. 6.1—Longitudinal (L) and transverse (T) shrinkage stresses in a butt weld.

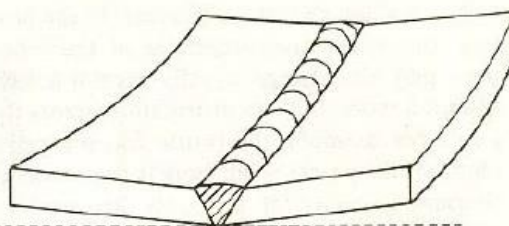


Fig. 6.3—Distortion in a butt weld.

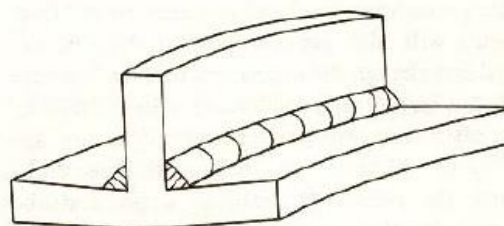
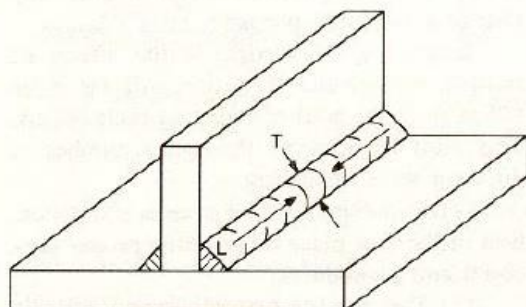
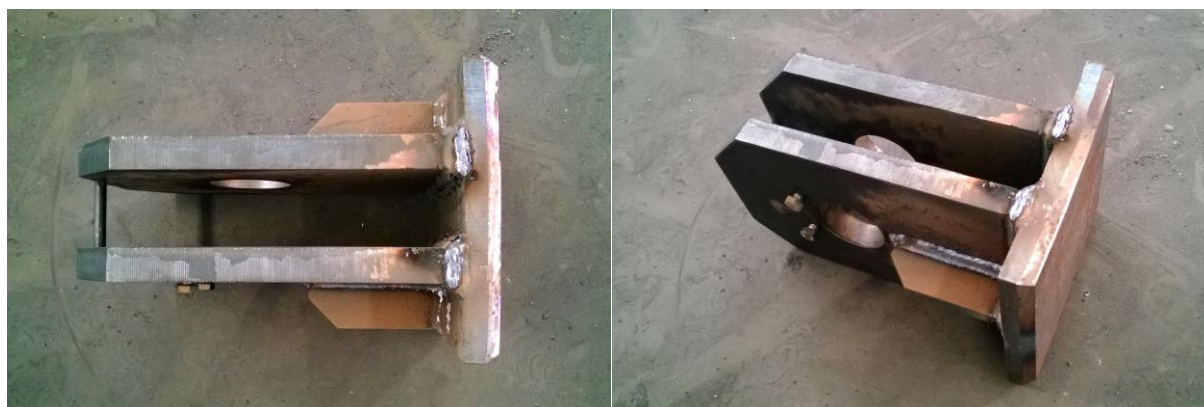


Fig. 6.4—Distortion in a fillet weld.

Figura 6.36 - Ilustração da distorção após soldadura em “Junta de canto” e em “Junta de topo a topo” (in Manual ISQ – curso de coordenador de soldadura para EN1090)



a)

b)

Figura 6.37 - Empeno (bem visível) após soldadura de “base com cantos”

A obtenção das tolerâncias dimensionais especificadas em projeto depende do rigor da preparação das peças constituintes, de uma cuidada assemblagem e da utilização de medidas preventivas para minimizar as ocorrências destas mesmas deformações.

É do conhecimento geral que se deve, por exemplo, evitar a aplicação de soldadura em excesso numa determinada junta, devendo-se adotar o menor número possível de passagens e, se possível, diminuir o tempo de soldadura. Verificando as figuras 6.38, 6.39 e 6.40, constata-se que a indústria ligada ao fabrico de estruturas metálicas prefere a aplicação de alguma pré-deformação nas peças com o auxílio de “dispositivos de fixação personalizados e montagem para soldaduras rígidas”.



Figura 6.38 - Dispositivo rígido para auxiliar na soldadura topo a topo de perfil HEA 450

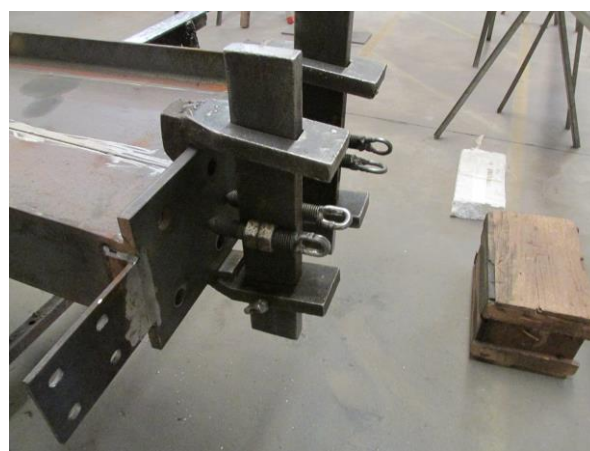


Figura 6.39 - Dispositivo rígido para auxiliar na soldadura de chapa de topo de asna



a) Preparação para soldadura



b) Durante a soldadura

Figura 6.40 – Dispositivo rígido a auxiliar na soldadura de chapa de topo de perfil construído

### 6.8.5 Soldaduras de topo

A norma NP EN 1090-2 na cláusula 7.5.9 [soldadura topo a topo] define como obrigatório a colocação de peças de arranque e de fim da soldadura (com soldabilidade não inferior ao metal base) apenas para classes de execução EXC3 e EXC4. Ainda assim, este preceito de trabalho verifica-se também de forma regular em estruturas da classe tipo EXC2 (ver figura 6.41) e é encarado muito bem pelas entidades externas de certificação.



a) Chapa de arranque e de fim de soldadura



b) Corte e alisamento final

Figura 6.41 - Exemplo de utilização de chapa de arranque e de fim em soldadura de topo numa obra de classe tipo EX2

Relativamente a este ponto, alerta-se que as “equipas projetistas” nem sempre elaboram as especificações de execução para fabricação de perfis de alma cheia com a informação mínima necessária para a sua boa execução. Para o fabricante de estruturas, a localização deste tipo de juntas é essencial e deverá acomodar os comprimentos disponíveis dos produtos constituintes no mercado. Os projetos omissos neste aspeto podem causar montagens incorretas e isso deve ser acautelado e evitado a todo o custo. Ainda assim, constata-se que a indústria, de uma forma geral, tem conhecimento das boas regras de construção e distribui as peças constituintes para que as diversas juntas nunca sejam coincidentes (figura 6.42).

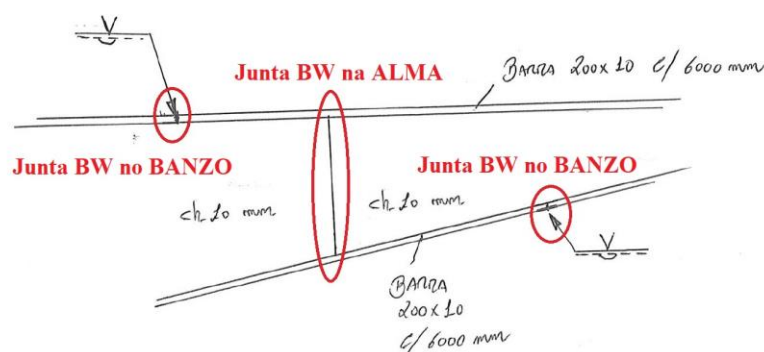


Figura 6.42 – Exemplo de croqui de distribuição de juntas

### 6.8.6 Tolerâncias de fabricação

As tolerâncias de fabricação normalizadas para perfis de alma cheia estão definidas no anexo D da NP EN 1090-2; tendo em conta a indicação da NP EN1090-1, apenas as tolerâncias essenciais são de carácter obrigatório e apenas estas terão de ser garantidas. As tolerâncias funcionais, por sua vez, apresentam alguns critérios em comum, mas são muito menos permissivas e são normalmente utilizadas em caso de exigência do caderno de encargos de obra.

Na figura 6.43, apresentam-se algumas medições realizadas em perfis soldados; os principais critérios essenciais foram verificados, com exceção da curvatura da chapa de alma, da distorção e da ondulação da alma, dado que são desvios quase imperceptíveis. Além disso, trata-se de uma medição complexa e de difícil execução.

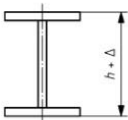

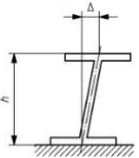
PERFIS SOLDADOS		TOLERÂNCIAS ESSENCIAIS				
		$h$	$h_{\min}$	$h_{\max}$	$h_{\text{real}}$	Verifica?
1	Altura:  $\Delta = h/50$	300	294	-	294	OK
		720	705,6	-	705	KO
		300	294	-	295	OK
		1000	980	-	998	OK
		500	490	-	495	OK
		500	490	-	498	OK
		800	784	-	795	OK
		800	784	-	790	OK
		650	637	-	645	OK
		650	637	-	643	OK
		$b$	$b_{\min}$	$b_{\max}$	$b_{\text{real}}$	Verifica?
2	Largura do banzo:  $\Delta = b/100$	200	198	-	198	OK
		200	198	-	197	KO
		300	297	-	298	OK
		300	297	-	297	OK
		250	247,5	-	248	OK
		250	247,5	-	248	OK
		500	495	-	498	OK
		500	495	-	499	OK
		450	445,5	-	448	OK
		450	445,5	-	447	OK
		$h$	$\Delta_{\min}$	$\Delta_{\max}$	$\Delta_{\text{real}}$	Verifica?
3	Esquadria nos apoios:  $\Delta = \pm hr/200$	300	-1,5	1,5	2	KO
		720	-3,6	3,6	3	OK
		300	-1,5	1,5	1	OK
		1000	-5	5	4	OK
		500	-2,5	2,5	2	OK
		500	-2,5	2,5	2	OK
		800	-4	4	3	OK
		800	-4	4	2,5	OK
		650	-3,25	3,25	3	OK
		650	-3,25	3,25	3	OK

Figura 6.43 - Verificação de tolerâncias essenciais em perfis soldados

Constata-se que não existem grandes problemas no cumprimento das tolerâncias essenciais, e, de uma forma geral, salvo pequenas exceções, estas são cumpridas sem grandes problemas.

Aliás, constata-se, por exemplo, que no caso do critério "altura" a tolerância até é demasiado permissiva, ou seja, o limite  $h/50$  parece um pouco excessivo se tivermos alturas demasiado elevadas. Verifica-se, no entanto, que os maiores desvios das peças não são absorvidos pelos critérios das tolerâncias essenciais, mas sim dos funcionais; a excentricidade da alma e a esquadria dos banzos são critérios específicos destas segundas tolerâncias e são eles que muitas vezes apresentam os desvios mais significativos. Por este motivo, reconhece-se que a inclusão destes dois critérios nas tolerâncias essenciais seria uma vantagem e uma maior valia.

A figura 6.44 foi retirada do anexo D da NP EN1090-2, mais precisamente do capítulo das tolerâncias funcionais e apresenta a ilustração desses dois critérios.

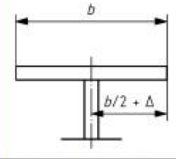
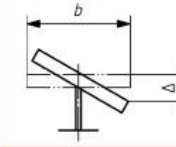
3	<p>Excentricidade da alma:</p> 	<p>Posição da alma:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- caso geral</li> <li>- banzos em contacto com aparelhos de apoio</li> </ul>	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 3 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 4 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 2 \text{ mm}$
4	<p>Esquadria dos banzos:</p> 	<p>Falta de esquadria:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- caso geral</li> <li>- banzos em contacto com aparelhos de apoio</li> </ul>	$\Delta = \pm b / 100$ mas $ \Delta  \geq 5 \text{ mm}$ $\Delta = \pm b / 400$	$\Delta = \pm b / 100$ mas $ \Delta  \geq 3 \text{ mm}$ $\Delta = \pm b / 400$

Figura 6.44 - Alguns critérios presentes nas tolerâncias funcionais

A falta de excentricidade da alma, surge normalmente por falha operatória durante a montagem em fábrica das peças e, a falta de esquadria dos banzos, é uma das principais consequências dos empenos provocados pela soldadura e pela inerente contração do material; esta situação torna-se ainda mais problemática quando se utilizam chapas de baixa espessura em vez de barras para formar os banzos do perfil, conforme ilustração da figura 6.45.



Figura 6.45 - Exemplo de asnas com banzos ligeiramente fora de esquadria

## 6.9. Imperfeições e defeitos mais comuns nas juntas soldadas

Além dos empenos e problemas dimensionais das soldaduras, outras imperfeições (ou defeitos) são comuns nas estruturas soldadas, algumas das quais reduzem significativamente a qualidade destas estruturas. No caso da NP EN1090-2, as imperfeições encontradas nas juntas soldadas apenas passam a defeito mediante comparação com os critérios de aceitação definidos pela ISO 5817 (CEN, 2003) [Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections] e pela norma de apoio ISO 6520 (CEN, 2007) [Welding and allied processes - Classification of geometric imperfections in metallic materials - Part 1: Fusion Welding].

As imperfeições e os defeitos nas juntas soldadas podem surgir por diversos motivos: a falha operatória, a má escolha de parâmetros, a falta de limpeza entre passes, a adoção de velocidade inadequada, a distância incorreta ente o elétrodo e a junta, a utilização de elétrodos defeituosos ou mal conservados ou a adoção de deficientes caudais do gás de proteção são alguns desses exemplos. De seguida, apresentam-se alguns exemplos das imperfeições /defeitos mais comuns na aplicação dos processos de soldadura acima referidos, os quais foram observados em estruturas de aço ao carbono de classe inferior a S355J2 (inclusive).

### 6.9.1 Salpicos

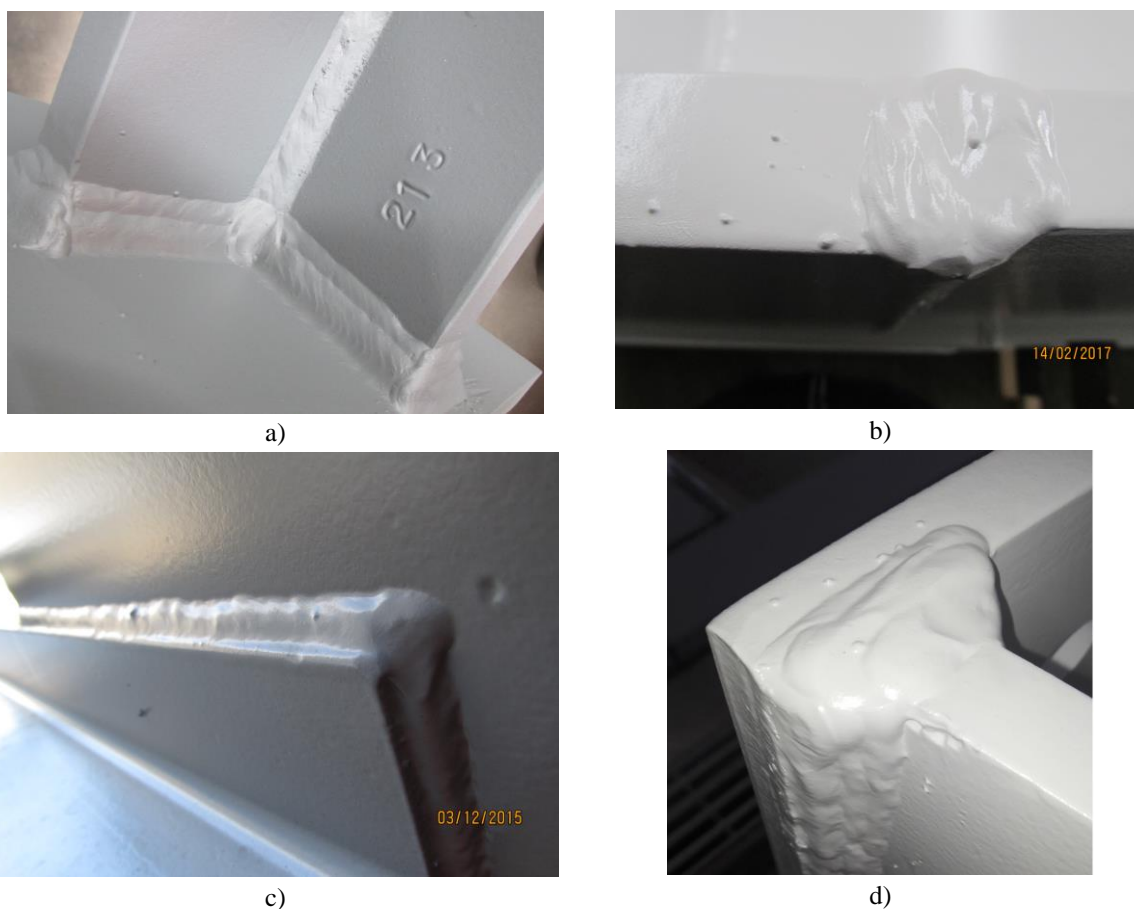
Os salpicos são gotas de metal fundido projetadas durante a soldadura, que aderem sobre o metal base ou sobre o metal de soldadura já solidificado; são potenciais pontos de oxidação local e possível aparecimento de microfissuras. São indicações muito frequentes e, na grande maioria dos casos, surgem devido à utilização de intensidades elevadas, à pouca limpeza das superfícies, à utilização de gases de proteção inapropriados, consumíveis contaminados (p.e húmidos) ou devido à má colocação do grampo de massa.

As normas ISO 6520 e NP EN ISO 5817 atribuem-lhe o código 602; a norma NP EN 1090-2 indica que esta patologia deve cumprir o nível de qualidade C, ou seja, neste caso a quantidade de salpicos deve ser definida pelos critérios reguladores da proteção anticorrosiva, ou seja, deverá ser redirecionada para os “graus de preparação de superfície” previstos pela norma ISO 8501-3 (já tratado anteriormente no capítulo 2.2.6). Verifica-se que este tipo de patologia ocorre com alguma frequência e tal como já foi atrás referido, ela acaba por desaparecer quase na totalidade durante o processo de decapagem mecânica, caso esta surja, evidentemente, a jusante da soldadura (ver figura 6.46).



a) Antes  
b) Depois  
Figura 6.46 - Efeito da decapagem mecânica sobre os salpicos de soldadura

Na figura 6.47 podem observar-se mais alguns exemplos dos salpicos resultantes das soldaduras; constata-se que a quantidade remanescente é diminuta e perfeitamente aceitável para efeitos de cumprimento dos graus de preparação P1 e P2.



a)  
b)  
c)  
d)  
Figura 6.47 - Outros exemplos de salpicos nas juntas soldadas

### 6.9.2 Desbordo

É uma patologia muito comum em processo MIG/MAG e é enumerada na ISO 6520-1 pelo código 506 (ver figura 6.48). O desbordo caracteriza-se por uma sobreposição da linha de união com o metal base ocasionando zonas críticas de concentração de tensões e surge habitualmente por falha operatória ou por excesso de intensidade de corrente elétrica.

A norma NP EN 1090-2 e a ISO 5817 preveem que, para classes de execução do tipo EXC2, possa ser utilizado o nível de qualidade D, o qual permite desbordos ( $h$ ) inferiores a 20% da largura do cordão ( $b$ ). Caso este limite seja ultrapassado, o procedimento corretivo deverá passar pela remoção com a rebarbadora e pela execução de um novo enchimento com a EPS original ou, então, por execução de soldadura com cordões sobrepostos do lado oposto por forma a atingir a simetria.

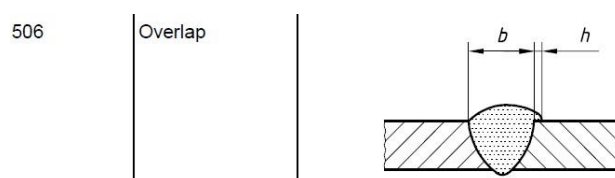


Figura 6.48 - Ilustração do desbordo na ISO 5817

A figura 6.49 mostra alguns exemplos de cordões irregulares onde o desbordo é evidente; nota-se que em ambos os casos os excessos surgiram devido a uma mudança de direção da junta; crê-se que a eventual e descontrolada diminuição da velocidade de soldadura para modificar a orientação possa ter ocasionado este excesso de banho de fusão.

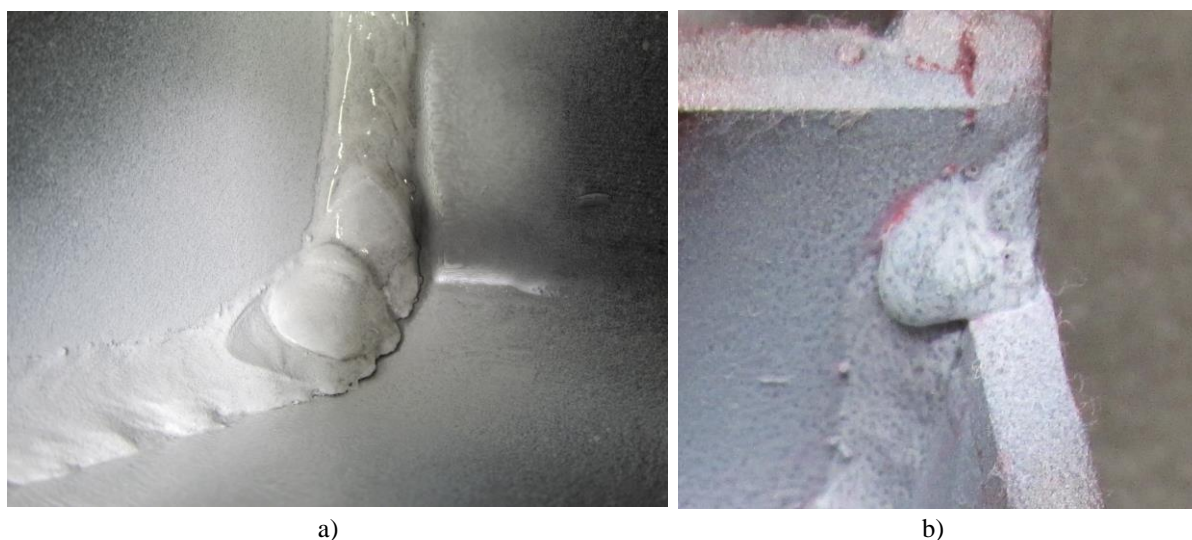


Figura 6.49 - Exemplos de desbordo



### 6.9.3 Cordão assimétrico

O cordão assimétrico é normalmente provocado por um incorreto ângulo de posicionamento do eléctrodo ou por parâmetros de amperagem elevada; trata-se de uma patologia referenciada pela norma NP EN ISO 5817 e pela ISO 6520 com o código 512 (ver figura 6.50) e é limitada pelo nível de qualidade C de acordo com a NP EN 1090-2 para classes de execução do tipo EXC2. Neste caso específico, o nível de qualidade limita a dimensão  $h$  ao somatório de 2 mm mais 15% da espessura do cordão “ $a$ ”.

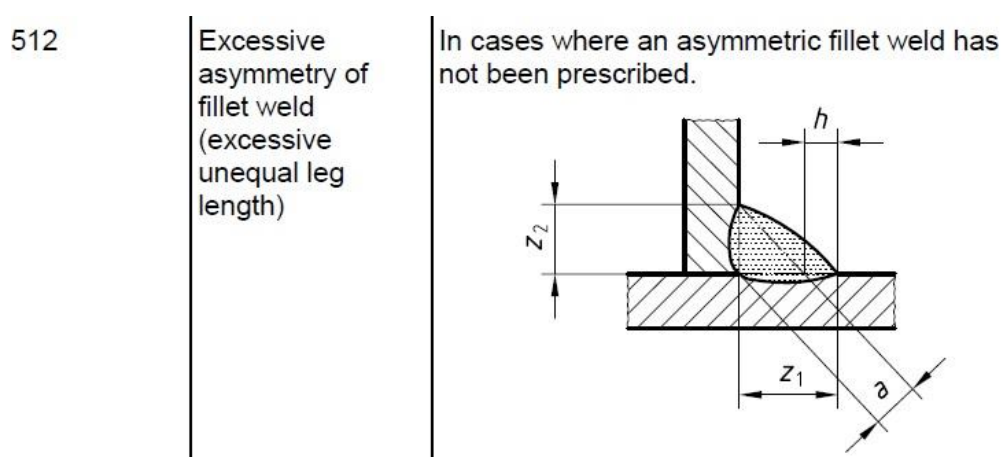


Figura 6.50 - Ilustração do cordão assimétrico na ISO 5817

Esta patologia pode ocorrer na utilização de qualquer um dos processos de soldadura. Ainda assim, é mais propenso de ocorrer em processos automáticos e mais mecanizados. A qualificação do operador de soldadura (já falado anteriormente) é obrigatória e essencial para garantir a qualidade da junta soldada e para evitar a ocorrência deste tipo de situações.

Os exemplos que se apresentam de seguida foram retirados de juntas executadas pelo processo SAS. Neste caso específico, crê-se que o desalinhamento do bico da tocha foi a causa das assimetrias notórias dos cordões.

Na figura 6.51, identifica-se uma irregularidade que surgiu provavelmente devido ao aparecimento de alguma folga, que propiciou um afundamento do cordão; existe também a possibilidade de esta irregularidade ter surgido devido uma tentativa de correção do alinhamento da tocha durante o processo.



Figura 6.51 - Zona de cordão especialmente irregular com algum desbordo

Na Figura 6.52, identifica-se um cordão assimétrico devido a uma provável má orientação do eletrodo; neste caso, o escantilhão “comparador de espessuras” não consegue sequer ser encostado na alma do perfil dada a excessiva e elevada assimetria do cordão de soldadura.

Em ambos os casos, a retificação passará sempre por retirar o cordão e voltar a encher de acordo com o procedimento aprovado ou, então, por compensar a junta com a execução de outro cordão do lado oposto, aumentando a dimensão da garganta, no máximo de 70% da espessura do material base, conforme recomendação da alínea b da cláusula 7.5.8.1 da NP EN 1090-2.



a)  
b)  
Figura 6.52 - Junta com cordão totalmente assimétrico

#### 6.9.4 Bordos queimados

As mordeduras/bordos queimados ou bordos roídos são imperfeições típicas do processo MAG e do processo SER, mas podem também ser encontradas no processo SAS. Estas indicações são especialmente perigosas quando existem cargas dinâmicas envolvidas, dado que o efeito dos entalhes geométricos poderá potenciar a ocorrência de fissuração por fadiga em serviço.

Apresentam-se à luz da norma ISO 6520 sob ao código 5011 para bordos roídos contínuos e 5012 para bordos roídos intermitentes (ver figura 6.53) e de acordo com a NP EN 1090-2 / ISO 5817; para classes de execução EXC2 deve ser cumprido o nível de qualidade mais permissivo de todos (nível D). Ainda assim, deve-se limitar a sua profundidade a 20% da espessura do material ( $t$ ) com o limite máximo de 1mm.

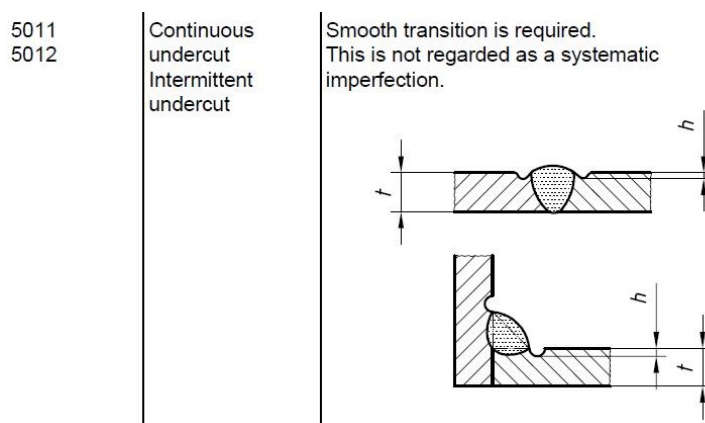


Figura 6.53 - Ilustração para bordos roídos contínuos/intermitentes

Normalmente, os defeitos curtos chamam-se mordeduras e os compridos bordos queimados, e são provavelmente a patologia mais frequente e que mais se evidencia nas juntas soldadas. O seu aparecimento pode ser motivado pela utilização de amperagens elevadas ou por uma incorreta orientação/balanceamento do eletrodo. É também importante controlar o nível de oxidação na superfície do material base.

Seguidamente, nas figuras 6.54 e 6.55 apresentam-se alguns exemplos reais de bordos roídos com valores de profundidade acima do permitido. O procedimento normal de reparação deverá passar pela remoção da zona danificada e voltar a fazer enchimento com a EPS original.



a)

b)

Figura 6.54 - Exemplo de bordos roídos em base de pilar



a)

b)

Figura 6.55 - Outros exemplos de bordos roídos

### 6.9.5 Falta de fusão/Colagens

As faltas de fusão ou “colagens” produzem-se quando existe uma falta de união entre o metal depositado e o metal base, trata-se de uma fusão incompleta e pode surgir por deficiente técnica de execução, por utilização de intensidades baixas de soldadura, por má preparação ou até por sujidade nos bordos da soldadura.

A norma ISO 6520 atribui-lhe o código 400 e define algumas subcategorias de acordo com a sua localização (ver figura 6.56). A norma NP EN 1090-2 informa que este tipo de indicação no caso de EXC2 deverá ser o nível de qualidade C referido na norma EN ISO 5817 com exclusão da falta de fusão microscópica (código 401). De forma resumida, verifica-se que nenhuma colagem poderá ser permitida numa junta soldada.

400	<b>Faltas de Fusão e de Penetração</b>	
401	<b>Falta de Fusão (fusão incompleta)</b> Ausência de ligação entre o metal depositado e o metal de base ou entre as sucessivas camadas de cordões depositados.  Pode ser uma das seguintes: - falta de fusão nas faces laterais (bordos da junta) - falta de fusão inter-passes (a) - falta de fusão na raiz - micro falta de fusão	
4011	- falta de fusão nas faces laterais (bordos da junta)	
4012	- falta de fusão inter-passes (a)	
4013	- falta de fusão na raiz	
4014	- micro falta de fusão	
4014	Nota: Em Inglês falta de fusão pode ser designada por “Cold Laps”  (a) Em Francês e em Português podem tomar a designação de colagens negras ou colagens brancas; as negras incluem óxidos metálicos não fundidos na zona de fusão	

Figura 6.56 - Ilustração para várias tipologias de “falta de fusão” retirada da ISO 6520

Estes defeitos são conhecidos por serem uma das grandes desvantagens da utilização do processo MIG/MAG, ainda assim, não são tão frequentes quanto se possa imaginar.

Nas figuras 6.57 e 6.58, apresentam-se exemplos de colagens superficiais detetadas a olho nu através de inspeção visual, sendo depois confirmadas através da utilização de líquidos penetrantes e partículas magnéticas.



Figura 6.57 - Confirmação de colagens com líquidos penetrantes



a) Confirmação com partículas magnéticas

b) Confirmação a olho nu

Figura 6.58 - Outros exemplos de colagens

### 6.9.6 Cratera de fim de cordão

As crateras de fim de cordão ou “rechupe de cratera” são cavidades com falta de metal, estão normalmente localizadas no fim do cordão de soldadura e resultam da contração da zona fundida durante a solidificação; elas devem ser sempre eliminadas antes ou durante a execução do cordão seguinte.

A EN ISO 5818 e a ISO 6520 identificam-na pelo código 2025 (ver figura 6.59) e a queda brusca da intensidade ao finalizar o cordão é normalmente a responsável pelo aparecimento deste tipo de indicações. São normalmente evitadas com recurso a uma paragem final do eletrodo, para depositar mais material, antes de interromper a soldadura.

De acordo com a NP EN 1090-2 e para a classe de execução EXC2 deve ser cumprido o nível de qualidade D, que estabelece que a aceitação desta imperfeição é limitada a 20% da profundidade com o limite máximo de 2 mm.

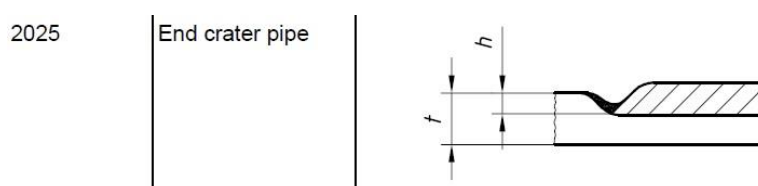


Figura 6.59 - Ilustração de “crateras de fim de cordão” pela EN ISO 5817

O controlo desta patologia é fundamental, pois a existência de crateras de fim de cordão potencia a ocorrência de fendilhação e consequente rotura em serviço. Tal como se pode verificar nas figuras seguintes (figuras 6.60), o surgimento de crateras de fim de cordão é realmente muito comum no decorrer da utilização do processo MIG/MAG.



a) Junto à base de um pilar 1



b) Junto à base de um pilar 2

Figura 6.60 - Exemplo de rechupe de cratera

### 6.9.7 Poros

Os poros podem surgir por falta de limpeza das chapas ou consumíveis, incorreta orientação do eléctrodo, ou por intensidade elevada; é uma indicação que está devidamente referenciado na ISO 6520-1 pelo código “201” (ver figura 6.61).

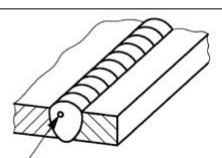
201	<b>Poros</b> Cavidade formada pelo gás que ficou retido no cordão de soldadura	
2011	<b>Poros Esféricos</b> Cavidade de gás com uma forma essencialmente esférica	

Figura 6.61 - Ilustração de “poros” pela ISO 6520

A norma NP EN 1090-2 indica no caso de obras da classe de execução EXC2, o nível de qualidade C da EN ISO 5817 deve ser garantido, verificando-se que os valores limite para o seu diâmetro serão definidos em função do tipo de poro e da espessura nominal do cordão. A porosidade superficial, os ninhos de poros, os poros alinhados, os poros alongados, os poros vermiculares são exemplos de tipologias abrangidas pela norma e criam, por vezes, alguma complexidade na sua leitura e interpretação.

As figuras seguintes mostram alguns exemplos reais de poros encontrados em juntas soldadas, quer em processo MAG (figura 6.62) quer em SAS (figura 6.63); conclui-se que são imperfeições muito usuais de ocorrer.



Figura 6.62 - Poro com processo MIG/MAG



Figura 6.63 - Poro com processo SAS



### 6.9.8 Fissuração a quente

A fissuração a quente trata-se de uma fissuração produzida a altas temperaturas e durante a solidificação do metal fundido; esta fissuração ocorre invariavelmente no espaço interdendritico ou intergranular durante a solidificação do metal de adição. As causas deste fenómeno são a existência na soldadura de tensões de tração e de compostos de baixo ponto de fusão, como o fósforo (P) e o enxofre (S), por exemplo.

Este tipo de defeito é muito raro quando se utilizam aços de baixo carbono (S235 ou S275) devido ao seu baixo teor de elementos de baixo ponto de fusão (P e S). Ainda assim podem ocorrer sempre que existe uma excessiva largura do cordão, altas amperagens, altas velocidades de soldadura ou elevadas tensões de contração (próprias de materiais mais resistentes).

De acordo com a norma ISO 6520 e a ISO 5817 este defeito é referenciado pelo código 101 (figura 6.64) e para a classe EXC2, o nível de qualidade C é requerido e nenhum tipo de fenda é permitida.

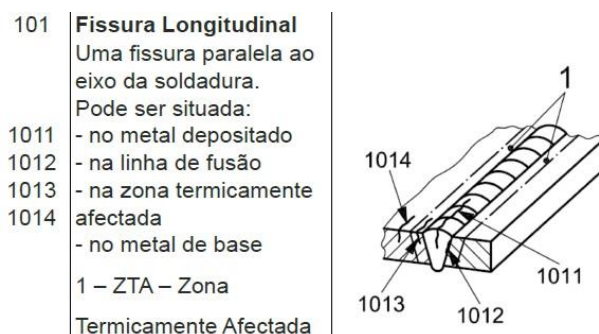


Figura 6.64 - Ilustração da fissuração longitudinal pela norma ISO 6520

As figuras 6.65 e 6.66 mostram a ocorrência desta patologia em material base bem mais duro (carbono equivalente mais elevado) do tipo S355J2 com espessuras de 24 mm, com o processo MAG.

Neste caso específico, a fissuração ocorreu duas vezes consecutivas após a tentativa de colocação do cordão de raiz; após falhar a segunda vez e depois de confirmar todos os parâmetros (incluindo a temperatura de pré-aquecimento) optou-se por remover novamente todo o material depositado e aplicar um processo diferente (SER).

O TIG ou o SER são processos muito utilizados na execução de cordões de raiz ou de confirmação devido ao seu excelente controlo de penetração, deixando por sua vez para o processo MAG ou SAS a aplicação do enchimento, dada a elevada taxa de depósito que os caracteriza. A utilização de vários processos numa mesma junta é uma boa solução e esta combinação, apesar de exigir qualificações adicionais “multi-processo” ao nível do soldador e dos procedimentos, garante ótimos resultados ao nível do comportamento estrutural.



Figura 6.65 - Fissuração do cordão de raiz após a 1ª tentativa



Figura 6.66 - Ocorrência de nova fissuração do cordão de raiz após a 2ª tentativa

Durante a aplicação do processo de SER na junta, além da inspeção visual (obrigatória), foram também sendo realizados alguns ensaios de partículas magnéticas e constatou-se que a fendilhação não voltou a suceder nesta junta.

## 6.10. Ensaio não destrutivo – END'S

### 6.10.1 Inspeção visual/ Níveis de qualidade em soldadura

Antes de mais é preciso esclarecer que não existem soldaduras perfeitas e que todas elas têm imperfeições e, o facto de uma junta soldada apresentar imperfeições não implica necessariamente que tenha defeito. As imperfeições só passam a defeito quando comparadas com um critério de aceitação definido numa norma, código de construção ou caderno de encargos.

No caso específico da construção metálica, a norma EN 1090 -2 é clara e direciona a análise dos limites permitidos para a norma ISO 5817 em função da respetiva classe de execução. Esta norma, juntamente com a norma ISO 6520, define e descreve, através de ilustrações, as imperfeições geométricas das soldaduras por fusão, além de as agrupar. Por exemplo, observando a NP EN1090-2 verifica-se que para EXC2, genericamente, tem de se garantir um nível de qualidade C, e o nível D para imperfeições específicas tais como “Bordos queimados”, “Sobre espessura”, “Escorvamentos” e “Rechupe de Cratera”.

A inspeção visual é o primeiro dos ensaios não destrutivos a realizar numa junta soldada e talvez o “mais” importante de todas as avaliações; um fraco aspeto visual de uma soldadura é um importante indicador de uma quase certa não conformidade e de que existe a necessidade de recorrer a outro tipo de END para averiguar e garantir a sanidade estrutural da junta.

Embora o ponto 12.4.1 da norma NP EN 1090-2 indique a que a inspeção visual pode ser realizada por pessoal não qualificado para o efeito, a verdade é que o domínio desta matéria é fundamental para a organização. Entende-se que a formação interna da produção em geral e dos soldadores em particular é fundamental para garantir a qualidade das soldaduras. Dessa forma, constata-se que deveria existir dentro da organização tecnicidade ao nível da inspeção visual com certificação nível I ou II, com conhecimentos suficientes para formar internamente o pessoal e dar a conhecer:

- i. As imperfeições mais frequentes e a melhor forma de as evitar;
- ii. A luminosidade mínima (natural/artificial) necessária no momento da inspeção visual;
- iii. Quais os equipamentos de medição necessários e a forma de os utilizar;
- iv. Quais são as tolerâncias e quando é que a imperfeição passa a defeito;
- v. Quais são as imperfeições permitidas em função da classe de execução.

Tendo presente que uma grande maioria dos soldadores executam o seu trabalho de forma empírica, com pouca formação de base, e que aqueles que possuem essa formação podem estar desatualizados, reitera-se a necessidade de formação interna periódica. Esta formação torna-se

ainda mais necessária se se tiver em consideração que a maior parte dos Planos de Inspeção e Ensaio “PIE” espalhados pelas empresas metalomecânicas do País definem que a inspeção visual das juntas é efetuada a 100% pelo soldador. Desta forma, dissipam-se as dúvidas e torna-se claro que é necessário assegurar que estes têm conhecimentos suficientes sobre esta matéria e conhecem as patologias inerentes à soldadura e respetivas tolerâncias.

As equipas auditoras, nas entrevistas aos soldadores, mostram preocupação sobre este tema e testam normalmente o seu nível de conhecimento, colocando normalmente questões reais sobre juntas acabadas de executar. É vital que essa formação seja devidamente assegurada e que os conhecimentos sobre tipos de imperfeições a controlar e os limites de aceitação face à classe de execução estejam bem definidos.

A par da inspeção visual surge também o controlo dimensional; este é essencial para a verificação da qualidade das estruturas soldadas, principalmente no que se refere à geometria e dimensão das soldaduras de canto; para o efeito os soldadores devem ter à disposição meios que lhes permitam fazer essas verificações (ver Figura 6.67).



a) Escantilhão “Cambridge”, um paquímetro, uma lanterna com mais de 500 lux e uma fita métrica

b) Um medidor de espessuras de cordões é muitas vezes utilizado em substituição do conhecido escantilhão de Cambridge dada a versatilidade que apresenta

Figura 6.67 - Equipamento normalmente utilizado na inspeção visual de juntas soldadas:

### 6.10.2 Ensaios não destrutivos suplementares

A utilização de ensaios não destrutivos (END's) é prática corrente no dia-a-dia da produção, porque os fabricantes de estruturas reconhecem a necessidade do controlo e inspeção interna e incluem-na no seu PIE para garantir a qualidade dos trabalhos executados.

Os END'S mais comuns em soldadura são os de Líquidos Penetrantes, de Magnetoscopia, Radiográfico, Ultrassons, de Pressão e o Ensaio de Vácuo, sendo estes dois últimos mais dirigidos a recipientes sob pressão.

Ainda assim, crê-se que os ensaios de líquidos penetrantes e de partículas magnéticas são, provavelmente, os mais utilizados pela indústria e são aplicados sem restrições quer a soldaduras topo a topo, quer a soldaduras de canto, conforme se ilustra na figura 6.68.



a) Líquidos penetrantes



b) Partículas magnéticas

Figura 6.68 - Aplicação de END's

De acordo com a cláusula 12.4.1 da EN1090-2, estes ensaios podem ser efetuados por entidades externas ou internas desde que exista pessoal qualificado para o efeito, ou seja, desde que sejam realizados por técnicos com qualificação de nível II.

Esta formação pode ser obtida, por exemplo, em organismos de formação específicos. Existem 3 níveis de certificação, o nível II é a certificação intermédia e fornece competências para elaborar o ensaio e fazer a interpretação dos resultados obtidos.

Se se tiver em consideração a significativa quantidade de ensaios de soldadura que é necessário efetuar por cada obra, ou seja, até 10% para EXC2 e até 20% para EXC3 (de acordo com a figura 6.69), rapidamente se percebe e justifica a necessidade de controlo interno permanente e sempre disponível. Não se pode ignorar que se tratam de percentagens mínimas e que poderão facilmente ser aumentados se for esse o intuito do cliente.

Desta forma, constata-se que esta adoção de técnicos internos com certificação nível II para execução dos ensaios é uma mais-valia para as empresas.

Quadro 24 – Extensão de END suplementares

Tipo de soldadura	Soldaduras em fábrica e obra		
	EXC2	EXC3	EXC4
Soldaduras de topo transversais e soldaduras com penetração parcial em juntas de topo sujeitas a tensões de tração:			
$U \geq 0,5$	10 %	20 %	100 %
$U < 0,5$	0 %	10 %	50 %
Soldaduras de topo transversais e soldaduras com penetração parcial:			
Juntas cruciformes	10 %	20 %	100 %
Juntas em T	5 %	10 %	50 %
Soldaduras de ângulo transversais em tração ou corte:			
Com $a > 12$ mm ou $t > 20$ mm	5 %	10 %	20 %
Com $a \leq 12$ mm e $t \leq 20$ mm	0 %	5 %	10 %
⊠ Soldaduras longitudinais com penetração total entre a alma e o banzo superior de vigas de suporte de pontes rolantes	10 %	20 %	100 %
Outras soldaduras longitudinais e soldaduras a reforços	0 %	5 %	10 % ⊠
<i>NOTA 1: Soldaduras longitudinais são aquelas realizadas paralelamente ao eixo do componente. Todas as outras são consideradas como soldaduras transversais.</i>			
<i>NOTA 2: U = classe de utilização das soldaduras para ações quase estáticas. <math>U = E_d/R_d</math> em que <math>E_d</math> é o maior efeito das ações da soldadura e <math>R_d</math> é a resistência da soldadura no estado limite último.</i>			
<i>NOTA 3: Os termos a e t referem-se respetivamente à espessura do cordão e à espessura do material a ser soldado.</i>			

Figura 6.69 - Extensão das END suplementares

A execução de ensaios não destrutivos a partir de classes de execução tipo EXC2 é uma obrigação legal e tem de ser verificada numa auditoria de marcação CE pela NP EN 1090-2. No entanto, e no decorrer de algumas subcontratações de fabrico, tem-se constatado que nem sempre a entrega dos relatórios de soldadura é um procedimento fácil e diligente; constatando-se que por vezes até é solicitado um valor extra para o fornecimento desses relatórios. Esta atitude levanta algumas dúvidas e indicia um eventual não cumprimento das percentagens descritas na norma; é certo que se tratam de situações pontuais, mas que ainda assim indiciam alguma falta de rotina neste tipo de controlo e de técnicos internos permanentes devidamente certificados para a execução desses mesmos ensaios.

## 7. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo principal a análise de alguns dos pontos-chave referidos na norma NP EN1090-2, especificamente no campo da fabricação, em particular: avaliar qual o nível de comprometimento das organizações para com os seus requisitos; identificar quais os requisitos que já estão a ser cumpridos e os que apresentam maior dificuldade em ser implementados; descrever quais as situações que são potencialmente mais críticas e que devem ser alvo de uma atenção mais detalhada.

Pretende-se que as conclusões que foram sendo relatadas ao longo deste trabalho sirvam para alertar para os pontos potencialmente fortes e fracos, presentes na generalidade da indústria metalomecânica de estruturas. Trata-se de uma tentativa de incremento de valor ao processo de controlo em fábrica, por forma a auxiliar na elaboração de planos de ação com as atividades necessárias ao cumprimento normativo.

Embora a entrada em vigor efetiva da NP EN 1090 tenha ocorrido a 1 de Julho de 2014 tem de se reconhecer que nem tudo está a funcionar a 100%, nota-se que existe ainda algum caminho a percorrer para se atingir a perfeição. Ainda assim, sente-se que as empresas, com o intuito de se adaptar às recomendações da norma, evoluíram significativamente nesta última década. Constatou-se que as metalomecânicas que já possuíam um sistema de gestão de qualidade do tipo ISO 9001 devidamente implantado no seio da organização estavam melhor estruturadas para absorver a transformação e viram facilitada a implementação destes novos requisitos; verificou-se também que a maioria das empresas sempre teve a preocupação de criar rotinas de controlo interno, para aligeirar processos e reduzir custos de produção; na maior parte dos casos já existiam inclusivamente políticas de qualidade, que embora não sendo totalmente compatíveis com os requisitos da norma NP EN 1090, já demonstravam grande preocupação com aspetos essenciais tais como:

- i. a gestão e controlo dos materiais utilizados;
- ii. a rastreabilidade dos materiais;
- iii. o controlo das diferentes tarefas produtivas;
- iv. a identificação das peças;
- v. as tolerâncias de fabricação;
- vi. os planos de inspeção e ensaio para a execução da soldadura;
- vii. o tratamento de superfície.

Constatou-se que, no caso dos produtos constituintes, os certificados EN 10204 e as normas de produto estão a surgir de forma adequada, salvo algumas pequenas exceções no caso dos gases; no caso das fixações, encontram-se os certificados adequados para as ligações aparafusadas da norma europeia (EN15048-1 para as ligações correntes e a EN 14399-1 para as ligações pré-esforçadas), mas ainda existe alguma inércia relativamente à sua utilização em prol das normas alemãs “DIN”. A sua não utilização preferencial não parece ser apenas provocada pelo fator preço, mas também pelo facto de o mercado fornecedor não estar ainda totalmente adaptado às exigências da norma; muitos fornecedores necessitam ainda de inovar e de evoluir tecnicamente por forma a dar melhores informações e respostas mais diligentes aos executantes de estruturas.

A identificação das peças é um procedimento habitual, na medida em que permite assegurar o seu controlo e o seu percurso durante o processo de fabrico e montagem; constatou-se que esta identificação surge normalmente aliada a um certificado, por forma a assegurar a necessária rastreabilidade e o perfeito conhecimento da origem e do destino. Além de se tratar de um procedimento corrente na maioria das metalomecânicas, é um assunto que é sempre explorado e verificado pelas equipas auditoras; neste trabalho são fornecidos alguns exemplos de pontos críticos recorrentes, alertados pelas equipas auditoras.

Os certificados EN 10034 são essenciais para o controlo dimensional dos perfis laminados IPE ou HE; estes definem as tolerâncias geométricas admissíveis para que as estruturas sejam fabricadas com rigor e se apresentem com o mínimo de imperfeições. A referência a esta norma é normalmente encontrada nos certificados recebidos. Ainda assim, e após a realização de algumas verificações em perfis rececionados em fábrica, constatou-se que são encontrados alguns valores acima daquilo que é permitido. No entanto, estes valores apresentam desvios pouco significativos.

A qualidade superficial do aço é orientada pela norma EN 10163; constata-se que os certificados normalmente rececionados não fazem nenhuma menção a esta norma, portanto este tipo de controlo tem de ser realizado internamente, por forma a cumprir os requisitos da norma. Verificou-se que a maioria do aço que é rececionado apresenta boa qualidade superficial, no entanto, existem algumas exceções à regra; são apresentados alguns casos reais das patologias mais usuais normalmente encontradas; apresentam-se exemplos de “escamas”, “covas e crateras” e “outras descontinuidades de laminagem” que ultrapassam largamente o limite admissível.

O cumprimento dos graus de preparação definidos pela EN ISO 8501-3 são fundamentais para garantir a boa adesão da pintura. Os graus P1 e P2 são os níveis de qualidade mais utilizados pelas metalomecânicas, mas que nem sempre se conseguem cumprir na totalidade. Um tratamento de superfície adequado e personalizado às categorias de corrosividade previstas pela norma NP EN 1090-2 assegura a proteção total necessária para garantir a durabilidade do revestimento. Os esquemas de pintura são normalmente adotados em consonância com os



fornecedores de tintas e a aplicação deverá ser controlada com o auxílio de equipamentos e técnicas adequadas. Além do controlo da humidade e da temperatura no momento da aplicação da tinta, é essencial garantir que as condições de secagem são as ideais e que os tempos de secagem entre camadas estão de acordo com as recomendações do fabricante das tintas. Apresentam-se também alguns exemplos de equipamentos de inspeção e ensaios mais utilizados para o controlo da decapagem e para o controlo das espessuras da tinta aplicada.

No campo do armazenamento e do manuseamento, a NP EN 1090-2 apresenta uma lista de medidas preventivas (apresentada pelo quadro 8) que deverão ser implementadas pela indústria em geral, para garantir a proteção dos componentes e evitar a ocorrência de potenciais deformações. De uma forma geral, verifica-se que se tratam de boas práticas normalmente observadas quer em fábrica, quer em estaleiro. Da mesma forma, deverá ser assegurado o correto armazenamento dos consumíveis de soldadura dentro e fora de fábrica; desta forma, verifica-se na grande maioria das vezes são criados locais próprios com controlo de temperatura e de humidade, para garantir a qualidade dos materiais de adição.

O corte é alvo de grande atenção pela NP EN 1090-2 e deve ser realizado através de processos aprovados por esta. O corte térmico é o processo mais exigente de todos e, além de merecer mais atenção, deverá também ser alvo de um controlo mais apertado e mais rigoroso; das várias verificações sugeridas na norma, destaca-se a rugosidade da superfície de corte e a dureza do bordo livre.

A obtenção de um perfil de corte sempre regular e constante é uma tarefa difícil em qualquer um dos processos de corte, mas mais acentuada quando se utiliza o corte térmico; tendo presente que este é um dos métodos mais utilizados na generalidade das metalomecânicas e que se trata efetivamente de um processo muito sensível, que pode provocar súbitas alterações no padrão de corte, constata-se que deveria ter controlo diário e permanente em fábrica.

Este controlo permanente nem sempre é evidenciado pelo facto de a sua leitura ser apenas obtida através de um equipamento totalmente eletrónico, que se denomina por rugosímetro, trata-se de um ensaio complexo que é apenas normalmente realizado em laboratórios externos; de acordo com a norma NP EN 1090-2; este equipamento deverá fazer a leitura de 4 amostras sempre que existam modificações no perfil de corte obtido. A indústria, para fazer face a esta necessidade de controlo permanente, recorre por vezes a padrões de corte ilustrados; este método, embora não seja aprovado pela norma NP EN 1090-2, mostra-se de grande utilidade, na medida em que pode ser utilizado por qualquer operador, visto se basear numa simples inspeção visual.

O controlo das durezas do bordo livre é importante, mas a obrigatoriedade deste controlo depende da existência dessa especificação em algum caderno de encargos; ainda assim para se compreender a flexibilidade dos limites apresentados na norma, foram realizados alguns ensaios a provetes em aço S355JR sujeitos ao corte no processo de plasma; rapidamente foi

constatado que o tipo de microestrutura presente no aço influencia significativamente os resultados e que facilmente se consegue ultrapassar o máximo admissível definido pela norma; ficou também verificado que estes valores acima do permitido apenas de encontram exatamente sobre o bordo livre e que 0.5 mm atrás já não se verificam.

Foi explicado que a furação é uma etapa essencial para a utilização de ligações aparafusadas em prol das soldadas; a adoção deste tipo de ligações promove montagens mais rápidas, com mão-de-obra menos especializada e com um controlo de qualidade mais fácil de realizar.

Foram apresentados os processos de furação mais utilizados e foi explicado que a furação por cisalhamento e por fusão são os mais exigentes e são os que requerem maior controlo interno.

O processo de furação por cisalhamento apresenta-se como um dos mais utilizados métodos de furação; desta forma achou-se conveniente fazer um cruzamento com as tolerâncias de furação previstas pela NP EN 1090-2 e verificar a sua real compatibilidade. Verificou-se que as matrizes que vêm de origem com os equipamentos nem sempre são compatíveis com as dimensões previstas na norma, uma incompatibilidade mais vincada no caso dos furos ovalizados. Abordou-se a avaliação do processo de cisalhamento de acordo com os limites previstos na norma e verificou-se que não existem grandes problemas nesse cumprimento.

Outros requisitos relacionados com a furação e não menos importantes foram também explorados; destacam-se os bons preceitos que usualmente são realizados aquando da execução dos cantos reentrantes dos perfis e chapas de ligação. Reforçou-se também a preocupação na execução do punçoamento com retificação final (através de brocagem) para as classes de execução EXC3 e EXC4; um procedimento necessário para minimizar a ocorrência de durezas excessivas e predominantemente elevadas nos bordos das furações originadas por cisalhamento e/ou fusão; trata-se de um ponto que é sempre verificado nas auditorias e que à partida está a ser salvaguardado, mas que pode perfeitamente estar a ser negligenciado dado o trabalho adicional que implica.

A soldadura por sua vez apresenta-se como o capítulo mais extenso da norma; o facto de ser uma atividade realmente complexa e envolver uma quantidade enorme de variáveis assume um enorme protagonismo e exige um controlo rigoroso, exigente e eficaz. Neste capítulo foi abordado o conceito “plano de soldadura”, que é essencial e que já existia na maioria das metalomecânicas; verificou-se também que este plano de soldadura é definido de acordo com a classe de execução e com a parte relevante da EN ISO 3834.

Apresentaram-se os processos de soldadura mais utilizados na indústria metalomecânica e verificou-se que todos eles eram processos aprovados pela norma NP EN 1090-2. A seguir resumiram-se as principais vantagens e desvantagens e descreveu-se de forma resumida quais

as principais preocupações ao nível da manutenção e da conservação por forma a garantir a sua fiabilidade durante as soldaduras.

A qualificação dos procedimentos de soldadura e a qualificação dos soldadores/operadores são pontos de controlo obrigatório durante as auditorias e são normalmente verificadas; estas qualificações são fundamentais para garantir a qualidade das juntas soldadas e demonstram a garantia das suas propriedades mecânicas e físicas.

Descreveram-se os vários métodos de qualificação de procedimentos permitidos pela norma e ficou registado que o ensaio de procedimento de soldadura definido pela EN ISO 15614-1 é o mais utilizado pela indústria de construção metálica, dado que se apresenta como o método mais versátil, pois abrange uma maior gama de aprovações e pode aplicar-se a qualquer uma das classes de execução. As auditorias de qualidade verificam normalmente se as gamas de aplicação/aprovação destes procedimentos se adequam ao tipo de trabalho normalmente realizado dentro de fábrica (consumíveis, gases, espessuras do aço, classes de qualidade do aço, posições de soldadura, etc.) e valorizam a criação de novos procedimentos e de abrangência de novas gamas. Constata-se que a indústria metalomecânica se inicia normalmente com os procedimentos mais básicos e que evolui ao longo do tempo para outras gamas de aprovação.

Verifica-se que o conceito “qualificação de soldadores” é um procedimento que está perfeitamente enraizado na indústria metalomecânica; trata-se de um dos mais antigos preceitos de qualidade do sector e encontra-se normalmente bem gerido dentro das metalomecânicas. De acordo com a NP EN 1090-2, os novos certificados deverão cumprir a norma ISO 9606-1:2013 e não a EN287-1:2011, anteriormente utilizada; verificou-se que a mudança para a nova norma se deu sem grandes problemas devido fundamentalmente ao facto de o mercado certificador se ter adaptado relativamente rápida às mudanças.

Deu-se especial ênfase ao controlo e à rastreabilidade das juntas soldadas e constatou-se que é um procedimento usual na maioria das metalomecânicas. Verifica-se que é habitual a existência de uma listagem de controlo de soldadores; trata-se de um documento de grande utilidade na medida em que permite auxiliar na distribuição diária de funções e mostra a altura certa para a revalidação dos certificados. É igualmente corrente a criação de listagens diárias, onde se pode verificar o registo de todas as peças soldadas e a correspondência com o soldador que as executou; ainda assim é também habitual a utilização de marcações nas peças com a identificação do soldador.

Definir a coordenação de soldadura é um requisito fundamental da NP EN 1090-2 e é uma das grandes novidades introduzidas pela norma; o coordenador de soldadura é uma figura vital no processo e deve ter experiência comprovada e conhecimentos adaptados às diversas classes de execução, grupos de aços e espessuras. A capacidade e a competência do coordenador de soldadura é normalmente testada nas auditorias para marcação CE, assim como o grau de comprometimento com a empresa.

Durante a fabricação de perfis de alma cheia é corrente verificar a utilização de alguns bons precedentes. O uso de gabarits para melhorar o rigor dimensional das peças é usual, assim como a utilização de fixações rígidas para controlar as deformações e as contrações do material; a utilização de peças de arranque de início e de fim de soldadura (em soldadura topo a topo) e a adoção de aproveitamentos de chapa por forma a permitir o desencontro das juntas soldadas são igualmente boas práticas normalmente encontradas. Fez-se também no capítulo relativo à soldadura uma verificação dimensional de algumas secções de alma cheia recentemente produzidas e fez-se uma comparação com as tolerâncias de fabricação essenciais presentes na norma NP EN 1090-2. Verifica-se que os valores propostos são facilmente alcançados e que seria uma mais-valia adicionar aos requisitos essenciais alguns critérios que estão disponíveis apenas para os requisitos funcionais, nomeadamente a excentricidade da alma e a esquadria dos banzos.

Faz-se uma abordagem geral aos critérios de aceitação descritos na norma NP EN 1090-2 e na norma auxiliar EN ISO 5817 e também um levantamento das imperfeições e dos defeitos mais comuns nas juntas soldadas, com exemplos reais associados. Fundamenta-se a vantagem na existência de tecnicidade no campo da inspeção visual com certificação nível I ou II, disponível em fábrica, para formação e auxílio da equipa da soldadura na avaliação dos critérios de aceitação; faz-se também uma apresentação dos equipamentos mais usuais utilizados na inspeção visual das juntas soldadas.

No campo dos ensaios não destrutivos suplementares verifica-se que ainda é necessário melhorar os procedimentos de algumas metalomecânicas. Neste trabalho, além de se descrever quais os ensaios mais usuais, salienta-se também a obrigatoriedade de serem realizados especificamente por técnicos do nível II a partir de classes de execução tipo EXC2. Embora estes requisitos sejam normalmente evidenciados e comprovados nas auditorias de marcação CE pela NP EN 1090-2, tem-se constatado que no decorrer de algumas subcontratações de fabrico nem sempre a entrega dos relatórios de soldadura é um procedimento fácil e diligente, sendo por vezes até solicitado um valor extra para o fornecimento desses relatórios. Esta atitude levanta algumas questões e pode propiciar um eventual não cumprimento das percentagens descritas na norma.

A evidência de calibração dos Equipamentos de monitorização e medição (EMMS) é outro ponto que foi sempre alertado ao longo deste trabalho; trata-se de um assunto sempre controlado pelas auditorias externas e que tem toda a importância no rigor dimensional das peças. A verificação das tolerâncias definidas na norma apenas faz sentido se o equipamento de medição estiver em boas condições de utilização.

Tendo presente o vasto universo de metalomecânicas que está a laborar em Portugal, informa-se que as conclusões acima relatadas apenas devem ser consideradas para as empresas que já estão certificadas ou que estão neste momento em processo de transição.

Constata-se que no mercado nacional já existe um grande número de empresas certificadas; estas empresas devem ser valorizadas e deverão continuar a aperfeiçoar o seu sistema e as suas rotinas diárias. É um caminho necessário para se conseguir fabricar um produto cada vez com mais qualidade e com o menor custo possível. A qualidade é um processo evolutivo e em permanente crescimento; partindo deste princípio, as oportunidades de melhoria nunca terminam.

Por outro lado, verifica-se ainda que existe uma percentagem muito significativa de metalomecânicas completamente alheias à marcação CE; esta percentagem tende a reduzir-se, ao ter em consideração a evolução observada nesta última década e as óbvias vantagens deste selo de qualidade. A marcação CE é um requisito legal exigível não apenas pela autoridade fiscalizadora, mas acima de tudo pelo cliente final, que se mostra cada vez mais informado e rigoroso. Deste modo, e tendo presente que nunca se irá conseguir a certificação de todas as metalomecânicas em simultâneo, crê-se que uma parte significativa delas irá certamente dar o passo em frente para a certificação, abrindo assim portas a novas oportunidades e ao acesso privilegiado a trabalhos específicos e de maior responsabilidade.

Como conclusão final, constata-se que a internacionalização em bloco dos fabricantes de estruturas metálicas deve ser imediata; para isso é necessário que a adesão a este selo de qualidade e a esta normalização seja a maior possível. O mercado nacional tem dado provas contínuas de sucesso neste ramo de atividade, um sucesso resultante da elevada capacidade que a indústria metalomecânica nacional apresenta para o projeto, para a fabricação e para montagem de estruturas metálicas. Um facto que deve ser ainda mais valorizado, ao relembrar a grande evolução que está a ser presenciada em tão curto espaço de tempo, um orgulho individual e coletivo, dado que está a ser concretizada por grandes metalomecânicas, que na maioria dos casos se iniciaram como simples serralharias de garagem.

Para terminar, resta referir o papel decisivo das universidades e politécnicos na formação de técnicos, cada vez mais bem preparados e atualizados; e também o contributo das associações ligadas à construção metálica presentes em Portugal e na Europa, nomeadamente no apoio que têm fornecido na promoção e na divulgação do uso do aço estrutural.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- UE, RPC Regulamento nº 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de março de 2011;
- IPQ, NP EN 1090-1:2013, “Execução de estruturas de aço e de estruturas de alumínio - Parte 1: Requisitos para a avaliação de conformidade de componentes estruturais”, Lisboa;
- IPQ, NP EN 1090-2008+A1 2015, “Execução de estruturas de aço e de estruturas de alumínio: Parte 2: Requisitos técnicos para estruturas de aço”, Lisboa;
- CEN, EN 1090-3:2008, “Execução de estruturas de aço e de estruturas de alumínio: Parte 3: Requisitos técnicos para estruturas de alumínio”, Brussels;
- CEN, NP EN 1993-1-1:2010/A1:2017-pt, “Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios”, Brussels;
- RSA, “Regulamento de estruturas de aço para edifícios”, Decreto nº211/86 de 31 Junho, Lisboa, 1986;
- REAE, “Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes”, Porto Editora, 1983;
- CEN, EN 10204:2004, “Produtos metálicos - Tipos de documentos de inspeção”, Bruxelas;
- Santos, F. e Simões da Silva, L. (2011). “Manual de Execução de Estruturas Metálicas”. cmm Press, Coimbra;
- ISO, EN ISO 4042:1999, “Fasteners – Electroplated coatings “, Switzerland;
- IPQ, NP EN ISO 10684:2013, “Fasteners - Hot dip galvanized coatings”, Lisbon;
- CEN, EN ISO 1461:2009, “Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles - Specifications and test methods”, Brussels;
- CEN, EN15048-1:2016, “Non-Preload Structural Bolting Assemblies - General requirements”, Brussels;
- CEN, EN14399-1:2015, “High-strength structural bolting assemblies for preloading. General requirements”, CEN, Brussels;
- CEN, EN 10034:1993, “Structural steel I and H sections - Tolerances on shape and dimensions”, Brussels;
- CEN, EN 10163-1:2004, “Delivery requirements for surface condition of hot-rolled steel plates, wide flats and sections”, Brussels;
- CEN, BS EN 10163-2:2004, “Delivery requirements for surface condition of hot-rolled steel plates, wide flats and sections. Plate and wide flats, Brussels;
- CEN, BS EN 10163-3:2004, “Delivery requirements for surface condition of hot-rolled steel plates, wide flats and sections. Sections”, Brussels;

- CEN, EN ISO 8501-3:2007, "Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 3: Preparation grades of welds, edges and other areas with surface imperfections", Brussels;
- CEN, ISO 12944, 1998, "Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems", Brussels ;
- CEN, BS EN ISO 9223:2012, "Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Classification, determination and estimation", Brussels;
- ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade, "Manual do Curso de Coordenação de Soldadura para a EN 1090 – Nível Específico e Básico", 2014;
- CEN, ISO EN 9013:2017, "Thermal cutting - Classification of thermal cuts – Geometrical product specification and quality tolerances", Brussels;
- RELACRE - Associação de Laboratórios Acreditadas de Portugal, "Manual de curso de certificação de técnicos de ensaios não destrutivos de acordo com a norma EN ISO 9712:2012", 2014;
- CEN, EN ISO 9712:2012, "Non-destructive testing. Qualification and certification of NDT personnel", Brussels;
- CEN, EN 10025:2004, "Hot Rolled products of structural steel" European committee for standardization", Brussels;
- CEN, BS EN 10210-1:2006, "Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels. Technical delivery requirements", Brussels;
- CEN, BS EN 10219:2006, "Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels. Technical delivery requirements", Brussels;
- CEN, EN ISO 6507-1:2005, "Metallic materials. Vickers hardness test. Test method", Brussels;
- CEN, EN ISO 3834-2:2005, "Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Comprehensive quality requirements", Brussels;
- CEN, EN ISO 3834-3:2005, "Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Standard quality requirements", Brussels;
- CEN, EN ISO 3834-4:2005, "Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Elementary quality requirements", Brussels;
- IPQ, NP EN ISO 9001:2008, "Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos", Lisboa;
- CEN, EN ISO 4063:2010, "Welding and allied processes. Nomenclature of processes and reference numbers", Brussels;
- CEN, EN ISO 15609-1:2004, "Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure specification. Arc welding", Brussels;
- CEN, EN ISO 15610:2003, "Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Qualification based on tested welding consumables", Brussels;
- CEN, EN ISO 15611:2003, "Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Qualification based on previous welding experience", Brussels;

- CEN, EN ISO 15612:2004, “Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Qualification by adoption of a standard welding procedure”, Brussels;
- CEN, BS EN ISO 15613:2004, “Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Qualification based on pre-production welding test”, Brussels;
- CEN, BS EN ISO 15614-1:2004+A2:2012, “Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure test. Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys”, Brussels;
- CEN, ISO 9606-1:2013 “Qualification testing of welders - Fusion welding - Part 1: Steels”, Brussels;
- CEN, EN 287-1:2011, “Qualification test of welders - Fusion welding – Steels”, Brussels;
- CEN, BS EN ISO 14732:2013, “Welding personnel. Qualification testing of welding operators and weld setters for mechanized and automatic welding of metallic materials”, Brussels;
- CEN, NP EN ISO 5817:2003, “Welding, Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys. Quality levels for imperfections”, Brussels;
- CEN, ISO 6520-1:2007, “Welding and allied processes. Classification of geometric imperfections in metallic materials. Fusion welding”, Brussels.

#### PÁGINAS DA INTERNET:

- [http://www.cenfim.pt/apresenta/2014/seminario\\_marca\\_ce\\_ealmeida.pdf](http://www.cenfim.pt/apresenta/2014/seminario_marca_ce_ealmeida.pdf), visitada em 16/07/2017;
- <http://www.cin-protective.com/portal/attachs.pdf?CONTENTITEMOID=98858080808280GC&CLASSTOKEN=scpdescricaoocategoria&ATTRIBUTEID=ficheiro>, visitada em 16/07/2017;
- [http://www.steelconstruction.info/Surface\\_preparation](http://www.steelconstruction.info/Surface_preparation), visitada em 16/07/2017;
- <http://blastjournal.com/defects-in-steel-surfaces/>, visitada em 16/07/2017;
- <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/apostilametalurgiasoldagem.pdf>, visitada em 16/07/2017;
- [http://www.cenfim.pt/apresenta/2014/seminario\\_marca\\_ce\\_hferreira.pdf](http://www.cenfim.pt/apresenta/2014/seminario_marca_ce_hferreira.pdf), visitada em 16/07/2017;
- <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-preparacao-de-superficie-manual-portugues-br.pdf>, visitada em 16/07/2017;
- <https://pt.scribd.com/document/347107682/Apostila-Conformacao-Mecanica-Fabio-Martins-pdf>, visitada em 16/07/2017;
- [https://www.tatasteeleurope.com/file\\_source/StaticFiles/Business\\_Units/Corus\\_Tubes/Tubes/TST\\_51\\_CPR\\_Interview\\_07-2013.pdf](https://www.tatasteeleurope.com/file_source/StaticFiles/Business_Units/Corus_Tubes/Tubes/TST_51_CPR_Interview_07-2013.pdf), visitada em 16/07/2017;



- [http://www.iiwelding.org/Qualification\\_certification/Certification/Documents/IAB-338r2-12-Supplement-for-Implementation-ISO-3834-Welded-Products.pdf](http://www.iiwelding.org/Qualification_certification/Certification/Documents/IAB-338r2-12-Supplement-for-Implementation-ISO-3834-Welded-Products.pdf), visitada em 16/07/2017;
- <https://pt.scribd.com/document/226676380/Http-Www-bssa-Org-uk-Topics>, visitada em 16/07/2017;
- [http://www.parkersteel.co.uk/shared\\_media/pdf/standards/JPSBS0001.pdf](http://www.parkersteel.co.uk/shared_media/pdf/standards/JPSBS0001.pdf), visitada em 16/07/2017;
- <https://pmpaspeakingofprecision.com/tag/steel-defects/>, visitada em 16/07/2017;
- <https://pmpaspeakingofprecision.com/tag/lamination/>, visitada em 16/07/2017;
- [http://www.steelconstruction.info/Surface\\_preparation](http://www.steelconstruction.info/Surface_preparation), visitada em 16/07/2017;
- [http://www.apal.pt/pdf/3\\_Dra\\_Teresa\\_Diamantino.pdf](http://www.apal.pt/pdf/3_Dra_Teresa_Diamantino.pdf), visitada em 16/07/2017;
- <http://www.marilina.pt/ficheiros/GuiaMetalomecanica-Marilina.pdf>, visitada em 16/07/2017;
- [http://www.cenfim.pt/apresenta/2014/seminario\\_marca\\_ce\\_ralves.pdf](http://www.cenfim.pt/apresenta/2014/seminario_marca_ce_ralves.pdf), visitada em 16/07/2017;
- [http://www.civil.ist.utl.pt/~crisina/EBAP/ExecucaoEstruturas/Elsa\\_IST\\_LNEC.pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/~crisina/EBAP/ExecucaoEstruturas/Elsa_IST_LNEC.pdf), visitada em 16/07/2017;
- <https://pt.scribd.com/doc/115405179/Introducao-Processos-Soldadura-2010>, visitada em 16/07/2017;
- <http://www.gowelding.com/wp/en.htm>, visitada em 16/07/2017;
- <http://cr4.globalspec.com/thread/8751/Deposition-Rates>, visitada a 05/09/2017