

MATERIAIS E SOLDAGEM NA CONSTRUÇÃO DE DUTOS

Annelise Zeemann
D.Sc. Engenharia Metalúrgica e de Materiais
Abril 2024

TECMETAL Soluções Tecnológicas em Materiais
Estrada dos Bandeirantes, 28.000
Vargem Grande - Rio de Janeiro - RJ - CEP 22785-092
Tel/Fax: 55 21 2428-1080 - www.tecmetal.com.br

PARTE 2

BÁSICO DE SOLDAGEM

20/04/2024

Fabricação de Tubos API
Montagem por Soldagem
 Processos de Soldagem
 Costura, União
 Procedimentos de Soldagem

PARTE 1

MATERIAIS EM APLICAÇÕES DE DUTOS

13/04/2024

Filosofia de Seleção de Materiais
Materiais em Aplicações de Dutos
Requisitos Associados às Condições de Operação
Tubos API 5L
Tubos API 5LD

MATERIAL PARA USO EM DUTOS

1. Baixo custo (aço ao C ou baixa liga);
2. Fabricação por um processo contínuo (laminação, extrusão).
3. Dependendo do grau de resistência selecionado, pode precisar de mais alta resistência mecânica, obtida pelo refino de grão.
4. Dependendo dos requisitos do cliente em relação ao risco, pode precisar ter tenacidade, obtida pelo refino de grão e baixo carbono.
5. Se precisar ser muito resistente à corrosão em relação aos fluidos internos e não puder contar com revestimento, pode ser usado um clad ou liner CRA.
6. Precisa obter as propriedades, mesmo quando especiais, por um método adequado a grandes comprimentos (laminação controlada, tratamento térmico contínuo).
7. Precisa ser facilmente soldado em campo.

Questões operacionais
Questões metalúrgicas

QUESTÕES OPERACIONAIS

TECNOLOGIAS DE FABRICAÇÃO

Preparação de juntas (acabamento, limpeza)

Acoplamentos (ajustes)

Processos manuais ou automáticos

**...facilmente
soldado em
campo ...**

QUESTÕES METALÚRGICAS

Material é sensível ao aquecimento em uma grande extensão?

controlar o aporte de calor

Material é sensível ao resfriamento rápido?

aplicar pré-aquecimento

Material é sensível à umidade?

aplicar pré e pós-aquecimento

Material acumula elevado nível de tensões

relaxar as tensões por tratamentos mecânicos ou térmicos

SOLDAGEM

SOLDAGEM

PROCESSO ESPECIAL

É um processo que pode alterar as características de qualidade do **PRODUTO** e cuja perda de qualidade não consegue ser facilmente detectada por nenhum método consistente de **CONTROLE DE QUALIDADE**.



PROPRIEDADES

resistência mecânica, resistência à corrosão, tenacidade

INTEGRIDADE

descontinuidades x defeitos

DOCUMENTOS DE SOLDAGEM

EPS

(especificação de procedimento de soldagem)

WPS

RQPS

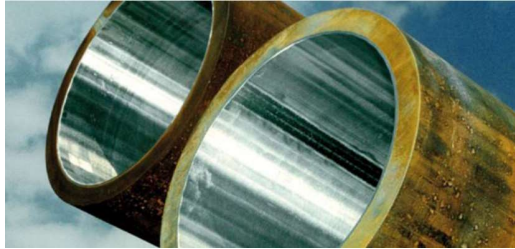
(registro de qualificação de procedimento de soldagem)

WPQ

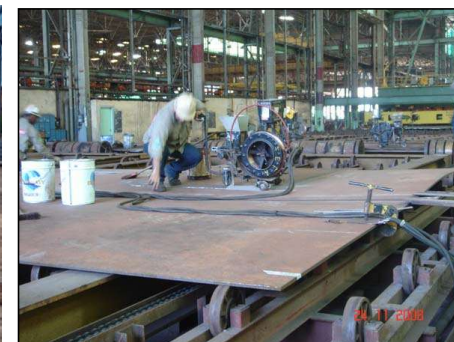
RQS

(registro de qualificação de soldador)

REVESTIR



FUNÇÕES DA SOLDAGEM



CONSTRUIR
(manufatura
aditiva)

UNIR

REPARAR

Diferentes tipos de soldagem requerem diferentes tipos de avaliação, utilizando diferentes métodos de inspeção e critérios de aceitação

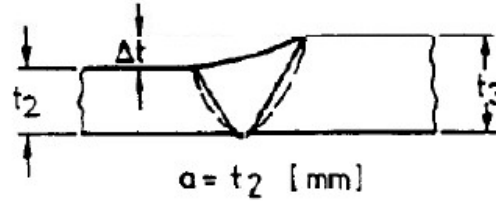
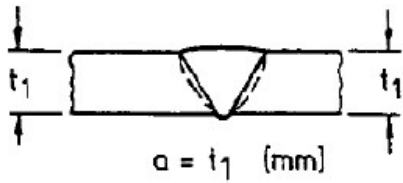
Projeto

Fabricação

Manutenção

Operação (vida útil)

SOLDAS DE TOPO, DE PENETRAÇÃO TOTAL



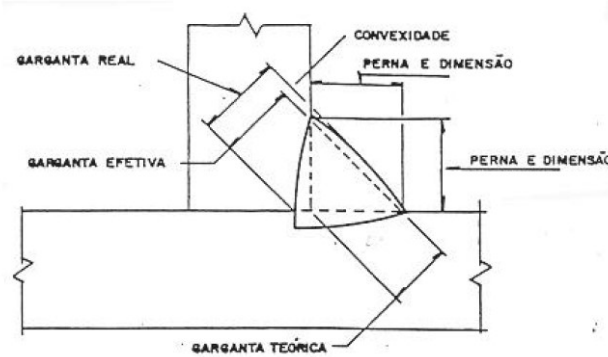
butt weld (typically, a butt joint, single V-groove weld): a weld between two members aligned approximately in the same plane.

PROJETO DE JUNTAS SOLDADAS

JUNTAS DE PENETRAÇÃO TOTAL/PARCIAL
mesma solicitação do metal de base

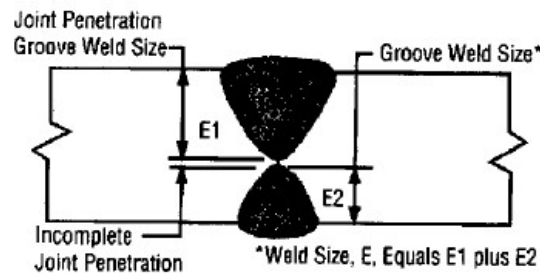
JUNTAS DE FILETE E JUNTAS SOBREPOSTAS
importantes são os tamanhos do filete e a penetração

SOLDA EM FILETE



fillet weld¹: a weld of approximately triangular cross section joining two surfaces approximately at right angles to each other in a lap joint, tee joint, or corner joint.

full fillet weld¹: a fillet weld whose size is equal to the thickness of the thinner member joined.

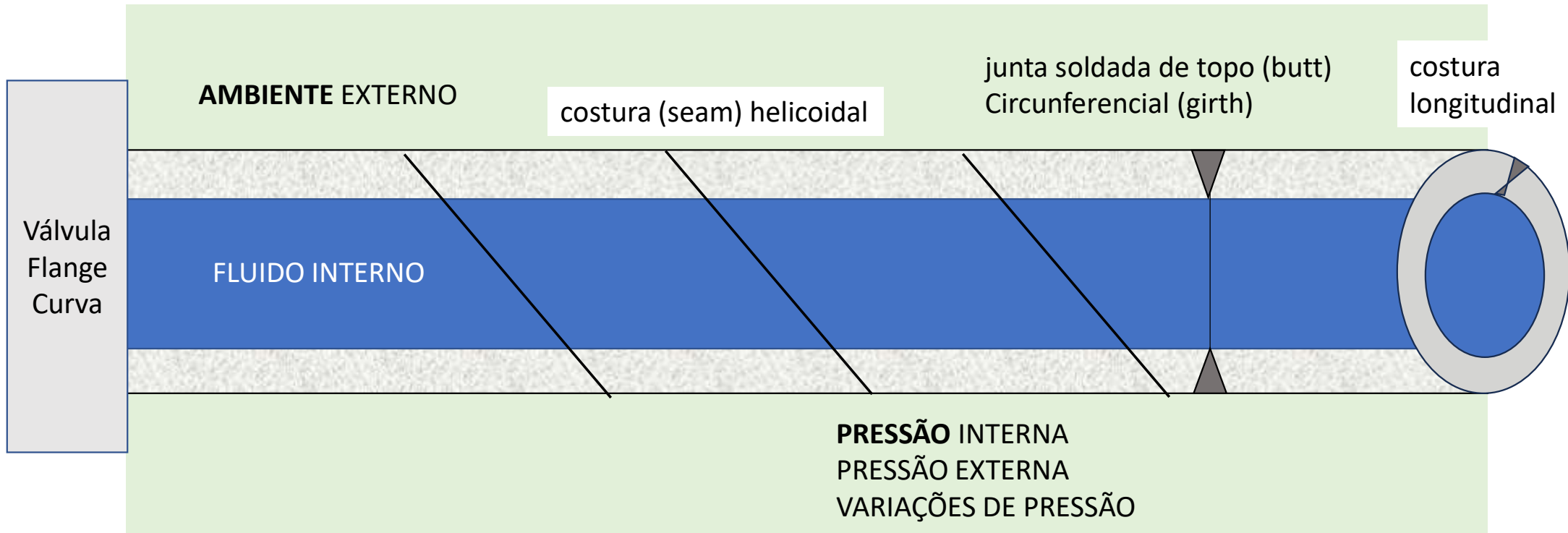


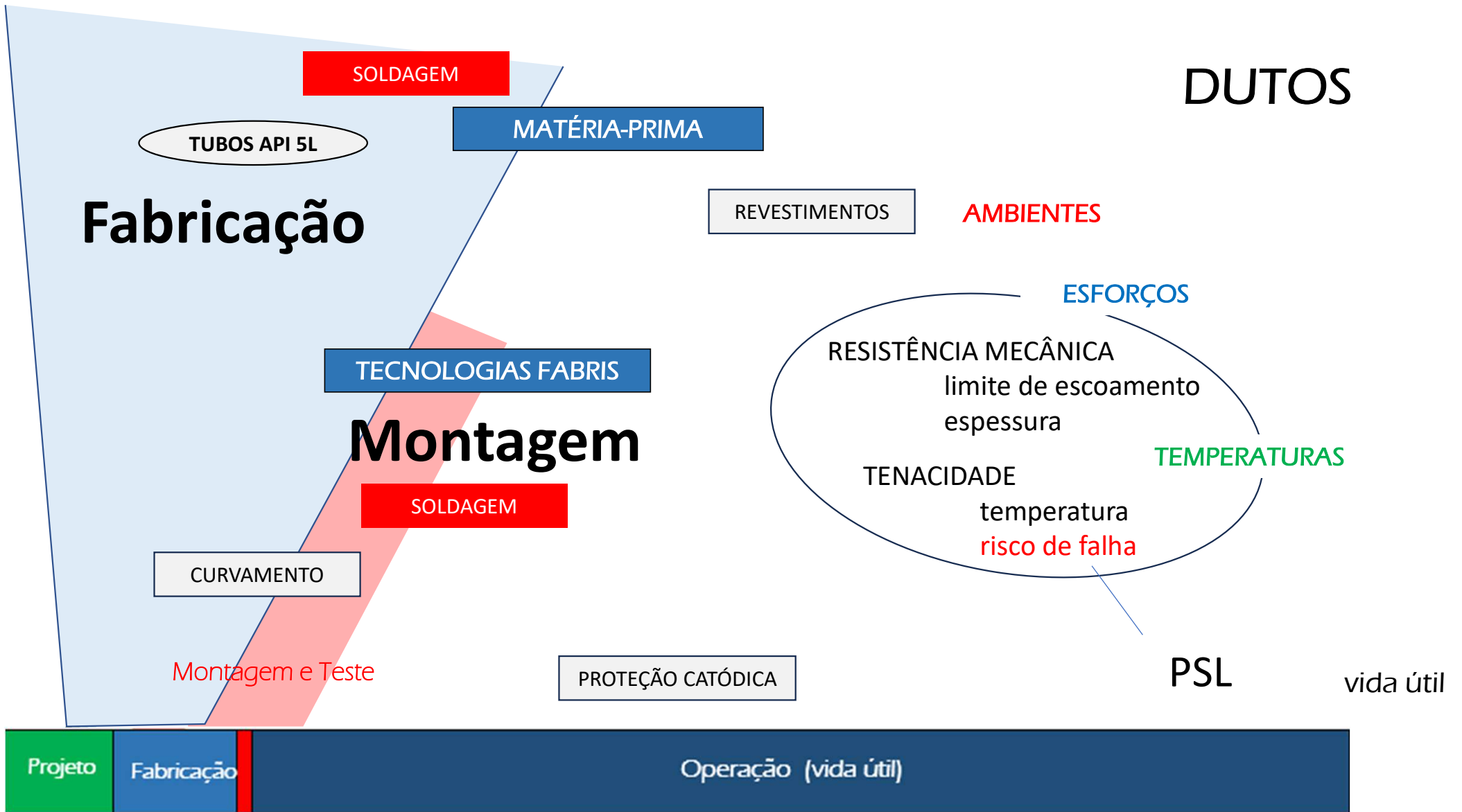
SOLDAS DE PENETRAÇÃO PARCIAL

ASME B31.4-2022
(Revision of ASME B31.4-2019)

DUTOS

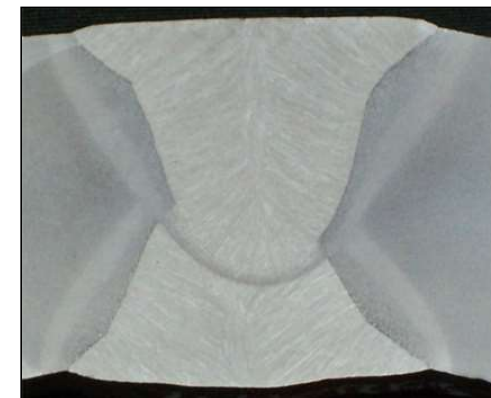
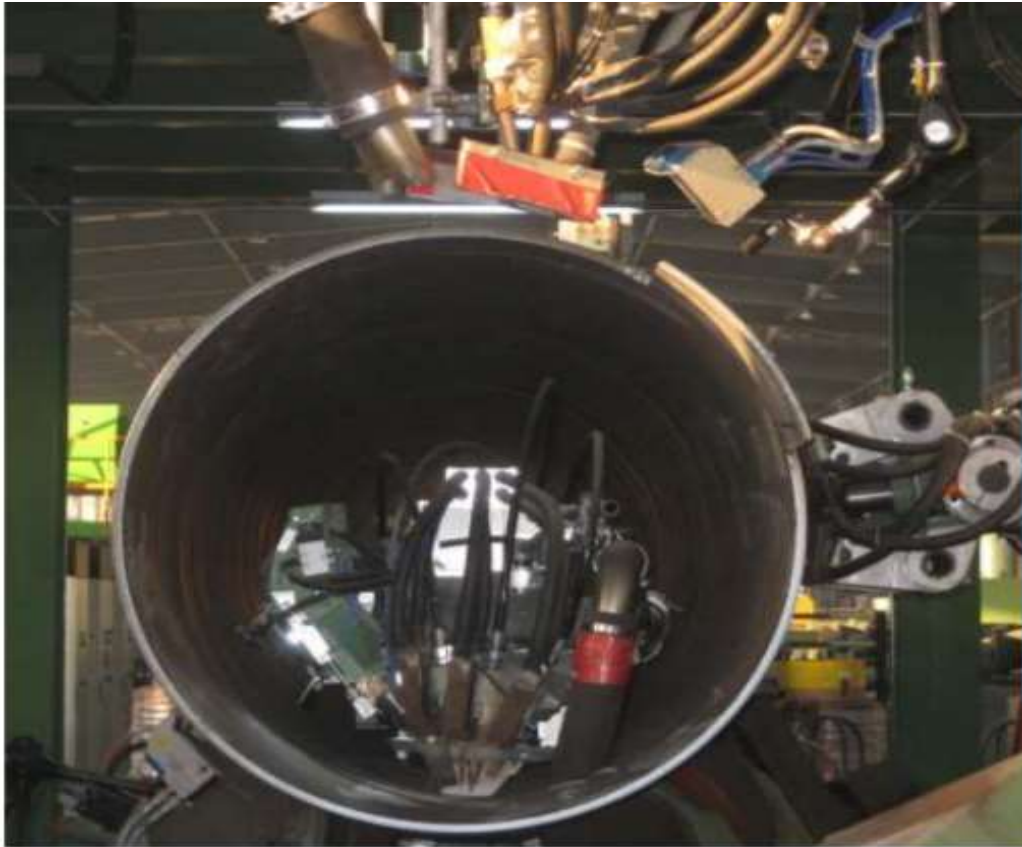
Soldas de fabricação e Soldas de campo





especificação

COSTURA SAW EM FÁBRICA

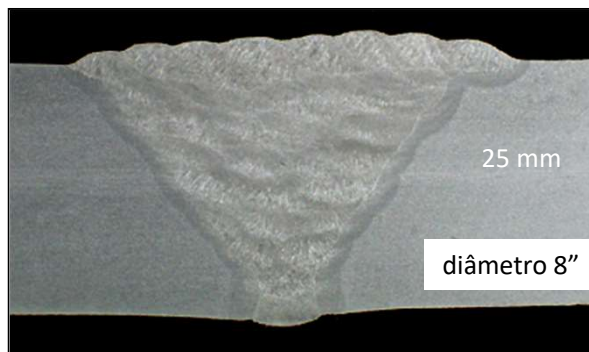


*diâmetro 20"
espessura 1"*

Fonte: <https://www.topsimages.com/images/robotic-welding-automation-c8.html>.



MONTAGEM DE DUTOS EM CAMPO



Dutos terrestres Parte 1: Projeto

Onshore pipeline
Part 1: Design

O que é mencionado em projeto que é importante em relação aos materiais?

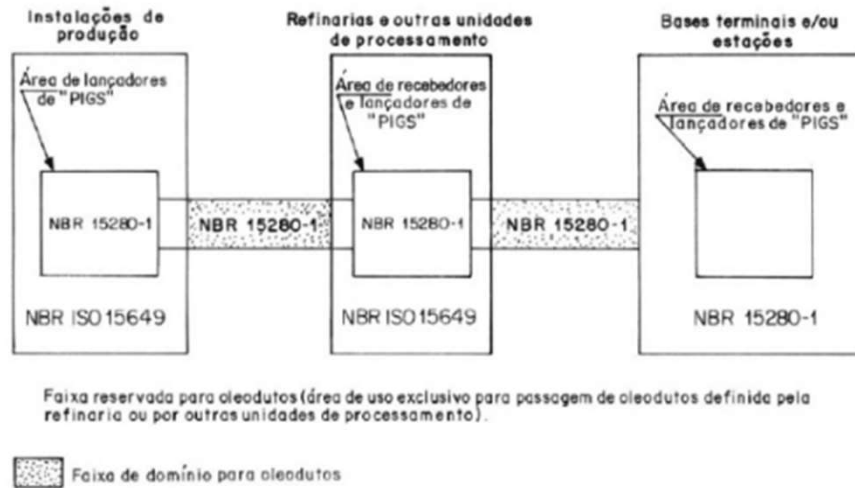


Figura 1 — Diagrama do escopo da ABNT NBR 15280

4.4.2 Cargas operacionais

- peso da tubulação e seus componentes, do produto transportado e dos revestimentos (ver Notas 1 e 2);
- pressão interna (ver Nota 3);
- pressão interna decorrente da expansão volumétrica do fluido (trechos sujeitos ao bloqueio duplo);
- pressão hidrostática (externa) para dutos submersos ou submersíveis (travessias);
- pressão interna abaixo da atmosférica (vácuos por abertura de coluna, drenagem etc.);
- variação de temperatura;
- forças e momentos em suportes e ancoragens;
- forças alternadas (vibração);
- peso da terra de cobertura;
- cargas de tráfego rodoviário e ferroviário (cruzamentos) (ver Nota 4);
- recalque diferencial no solo;
- rotações e deslocamentos, impostos em pontos de restrição da tubulação;
- forças hidráulicas geradas nas curvas;
- forças de pré-tensionamento (ver Nota 5).

NÃO APLICÁVEL

operação acima de 120 °C e abaixo de - 30 °C

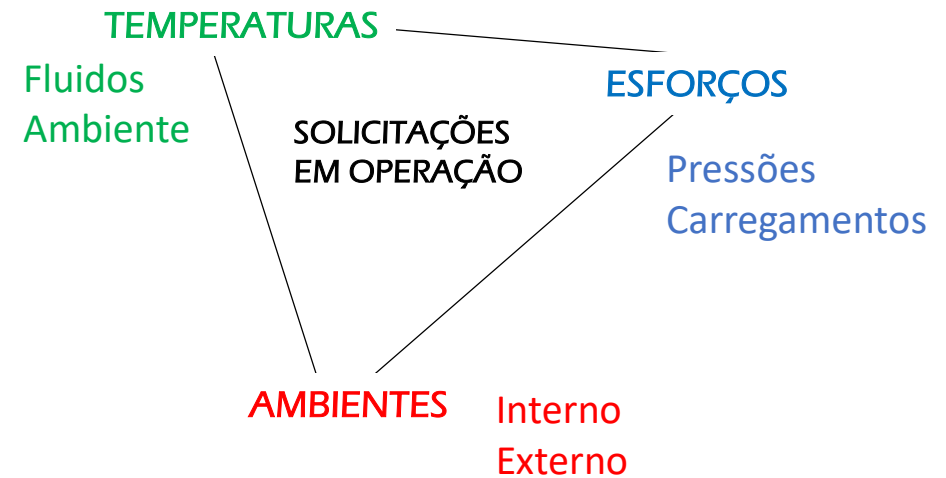
4.3.3 Alguns materiais, qualificados em conformidade com as normas listadas no Anexo E, podem não ser adequados para utilização em sistemas que operem à temperatura próxima do limite inferior preconizado em 1.9 (c). Deve ser dada atenção para as propriedades mecânicas e metalúrgicas nas baixas temperaturas, para os materiais empregados em instalações sujeitas às condições ambientais ou operacionais de frio.

12.1 Proteção contra corrosão externa

A proteção contra a corrosão externa deve ser assegurada com a aplicação de um revestimento anticorrosivo, suplementado por um sistema de proteção catódica.

12.4 Controle da corrosão interna

12.4.1 O duto deve possuir um sistema para determinação da taxa de corrosão interna, preferencialmente por provadores de corrosão do tipo cupom de perda de massa e sonda de resistência elétrica.



Dutos terrestres

Parte 2: Construção e montagem

Onshore pipeline
Part 2: Construction and installation

O que é mencionado em construção e montagem, que é importante em relação aos materiais?



5.7 Curvamento de tubos

5.7.1 O curvamento de tubos a frio ou natural deve atender a esta Norma, ao disposto na ABNT NBR 15280-1, para oleodutos, e ABNT NBR 12712, para gasodutos. O curvamento a quente por indução deve atender à ABNT NBR 15273 e aos requisitos do projeto.

NOTA Para o curvamento por indução, recomenda-se selecionar, entre os tubos disponíveis no canteiro, aqueles com maior espessura real e maior carbono equivalente, a fim de compensar as perdas de espessura e propriedades mecânicas decorrentes do processo.

5.9 Soldagem

5.9.1 A soldagem deve obedecer ao disposto nas seguintes normas:

- para oleodutos – ASME B31.4;
- para gasodutos – ASME B31.8.



5.11 Revestimento externo anticorrosivo e isolamento térmico – Juntas de campo e reparos

7 Teste hidrostático

- relatórios dos testes hidrostáticos e inspeção com pig geométrico (quando aplicável);
- relatório de inspeção do revestimento anticorrosivo após a cobertura;
- todos os certificados de qualidade de materiais recebidos e incorporados à obra;
- procedimentos de soldagem e registros de ensaios não destrutivos das juntas soldadas;

ALTERAÇÕES MECÂNICAS OU
TÉRMICAS QUE PODEM AFETAR A
PERFORMANCE.

ASME B31.4-2022
(Revision of ASME B31.4-2019)

Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries

ASME Code for Pressure Piping, B31

Chapter V	Construction, Welding, and Assembly
434	Construction
435	Assembly of Piping Components

ASME B31.8-2022
(Revision of ASME B31.8-2020)

Gas Transmission and Distribution Piping Systems

ASME Code for Pressure Piping, B31

Chapter II	Welding
820	Welding
821	General
822	Preparation for Welding
823	Qualification of Procedures and Welders
824	Preheating
825	Stress Relieving
826	Weld Examination Requirements
827	Repair or Removal of Defective Welds in Piping Intended to Operate at Hoop Stress Levels of 20% or More of the Specified Minimum Yield Strength

Table 403.3.1-1
Allowable Values for Pipeline System Stresses

Location	Internal and External Pressure Stress, S_H	Allowable Expansion Stress, S_E	Additive Longitudinal Stress, S_L	Sum of Longitudinal Stresses From Sustained and Occasional Loads	Equivalent Combined Stress, S_{eq}	Effective Stress for Casing or Uncased Pipe at Road or Railroad Crossings
Restrained pipeline	$0.72(E)S_y$	$0.90S_y$	$0.90S_y$ [Note (1)]	$0.90S_y$	$0.90S_y$	$0.90S_y$ [Note (2)]
Unrestrained pipeline	$0.72(E)S_y$	S_A [Note (3)]	$0.75S_y$ [Note (1)]	$0.80S_y$	n/a	$0.90S_y$ [Note (2)]
Riser and platform piping on inland navigable waters	$0.60(E)S_y$	$0.80S_y$	$0.80S_y$	$0.90S_y$	n/a	n/a

GENERAL NOTES:

- (a) S_y = specified minimum yield strength of pipe material, psi (MPa)
- (b) E = weld joint factor (see Table 403.2.1-1)
- (c) In the setting of design factors, due consideration has been given to and allowance has been made for the underthickness tolerance and maximum allowable depth of imperfections provided for in the specifications approved by the Code.
- (d) S_L in the table above is the maximum allowable value for unrestrained piping calculated in accordance with para. 402.6.2. The maximum value of S_L for restrained pipe is calculated in accordance with para. 402.6.1.
- (e) See para. 403.10 for allowable stresses of used pipe.

NOTES:

- (1) Beam-bending stresses shall be included in the longitudinal stress for those portions of the restrained or unrestrained line that are supported aboveground.
- (2) Effective stress is the sum of the stress caused by temperature change and from circumferential, longitudinal, and radial stresses from internal design pressure and external loads in pipe installed under railroads or highways.
- (3) See para. 403.3.2.

403.2 Criteria for Pipe Wall Thickness and Allowances

$$t = \frac{P_i D}{20S}$$

where

D = outside diameter of pipe, in. (mm)

P_i = internal design gage pressure, psi (bar)

S = applicable allowable stress value, psi (MPa), as determined by the following equation:

$$S = F \times E \times S_y$$

E = weld joint factor as specified in [Table 403.2.1-1](#)

F = design factor. The value of F used in this Code shall not be greater than 0.72. Where indicated by service or location, users of this Code may elect to use a design factor, F , less than 0.72. In setting design factor, due consideration has been given to and allowance has been made for the under-thickness tolerance and maximum allowable depth of imperfections provided for in the specifications approved by the Code.

S_y = specified minimum yield strength of the pipe, psi (MPa)

ASME B31.4-2022

(Revision of ASME B31.4-2019)

403.11 Criteria for Cold Worked Pipe

The allowable stress for pipe that has been cold worked to meet the specified minimum yield strength and is subsequently heated to 600°F (300°C) or higher (welding excepted) shall be derated to 75% of the allowable stress value as defined in [para. 403.2.1](#).

Chapter II Design

O PROJETO DEFINE O FATOR DE SOLDA DEPENDENDO DO PROCESSODE SOLDAGEM ADOTADO PARA A COSTURA, E DA INSPEÇÃO NÃO DESTRUTIVA. SEM COSTURA, E COM COSTURA POR PROCESSO A ARCO ELÉTRICO, INSPECIONADO, O FATOR É 1.

Table 403.2.1-1
Weld Joint Factors Applicable to Common Pipe Specifications

Specification	Grade	Weld Joint Factor, E
API 5L	A25 through X80Q/M	1.00
ASTM A53	All	1.00
ASTM A106	All	1.00
ASTM A333	6	1.00
ASTM A524	All	1.00
Furnace Butt Welded, Continuous Welded		
ASTM A53	Type F, Grade A	0.60
API 5L	A25	0.60
Electric Resistance Welded and Electric Flash Welded		
API 5L	A25 through X80Q/M	1.00
ASTM A53	All	1.00
ASTM A135	All	1.00
ASTM A333	6	1.00
Electric Fusion Welded		
ASTM A134	All	0.80
ASTM A139	All	0.80
ASTM A671	All	1.00 [Note (1)]
ASTM A671	All	0.70 [Note (2)]
ASTM A672	All	1.00 [Note (1)]
ASTM A672	All	0.80 [Note (2)]
Submerged Arc Welded		
API 5L	A25 through X120M [Note (3)]	1.00
ASTM A381	Y35 through Y65	1.00

GENERAL NOTES:

- For some Code computations, particularly with regard to branch connections [see [para. 404.3.5\(c\)](#)] and expansion, flexibility, structural attachments, supports, and restraints (see [para. 404.9](#)), the weld joint factor, E , need not be considered.
- Definitions for the various types of pipe are given in [para. 400.2](#).

NOTES:

- Factor applies for Class X2 pipe only, when the radiographic examination has been performed after postweld heat treatment (PWHT).
- Factor applies for Class X3 pipe (no radiographic examination) or for Class X2 pipe when the radiographic examination is performed prior to PWHT.
- For offshore applications, API 5L Annex J applies, which specifies a maximum strength grade allowed up to X80MO.

403 CRITERIA FOR PIPELINES

403.3 Criteria to Prevent Yield Failure

403.4 Criteria to Prevent Buckling and Excessive Ovality

403.5 Criteria to Prevent Fatigue

403.6 Criteria to Prevent Loss of In-Place Stability

403.7 Criteria to Prevent Fracture

403.7.3 Brittle Fractures. Brittle fracture propagation shall be prevented by selection of a pipe steel that fractures in a ductile manner at operating temperatures.

403.7.4 Ductile Fractures. Ductile fracture propagation shall be minimized by the selection of a pipe steel with appropriate fracture toughness and/or by the installation of suitable fracture arrestors. See ASME B31T for more information about determining appropriate toughness of pipe steel. Design consideration shall include pipe diameter, wall thickness, fracture toughness, yield strength, operating pressure, operating temperature, and the decompression characteristics of the pipeline contents.

403.8 Criteria for Crossings

403.9 Criteria for Expansion and Flexibility

403.10 Criteria for Used Pipe

403.11 Criteria for Cold Worked Pipe

403.12 Criteria for Shear and Bearing Stresses

403.13 Criteria for Structural Supports and Restraints

400.2 Defintlions SOLDAGEM A ARCO

*arc welding (AW)*¹: a group of welding processes that produces coalescence of workpieces by heating them with an arc. The processes are used with or without the application of pressure and with or without filler metal.

*gas metal arc welding (GMAW)*¹: an arc welding process that uses an arc between a continuous filler metal electrode and the weld pool. The process is used with shielding from an externally supplied gas and without the application of pressure.

*gas tungsten arc welding (GTAW)*¹: an arc welding process that uses an arc between a tungsten electrode (non-consumable) and the weld pool. The process is used with shielding gas and without the application of pressure.

*submerged arc welding (SAW)*¹: an arc welding process that uses an arc or arcs between a bare metal electrode or electrodes and the weld pool. The arc and molten metal are shielded by a blanket of granular flux on the workpieces. The process is used without pressure and with filler metal from the electrode and sometimes from a supplementary source (welding rod, flux, or metal granules).

*shielded metal arc welding (SMAW)*¹: an arc welding process with an arc between a covered electrode and the weld pool. The process is used with shielding from the decomposition of the electrode covering, without the application of pressure, and with filler metal from the electrode.

electric flash welded pipe: pipe having a longitudinal butt joint wherein coalescence is produced simultaneously over the entire area of abutting surfaces by the heat obtained from resistance to the flow of electric current between the two surfaces, and by the application of pressure after heating is substantially completed. Flashing and upsetting are accompanied by expulsion of metal from the joint.

electric fusion welded pipe: pipe having a longitudinal or helical seam butt joint wherein coalescence is produced in the preformed tube by manual or automatic electric arc welding. The weld may be single or double and may be made with or without the use of filler metal. Helical seam welded pipe is also made by the electric fusion welded process with either a lap joint or a lock-seam joint.

electric induction welded pipe: pipe produced in individual lengths or in continuous lengths from coiled skelp having a longitudinal or helical seam butt joint wherein coalescence is produced by the heat obtained from resistance of the pipe to induced electric current, and by application of pressure.

electric resistance welded pipe: pipe produced in individual lengths or in continuous lengths from coiled skelp, having a longitudinal or helical seam butt joint wherein coalescence is produced by the heat obtained from resistance of the pipe to the flow of electric current in a circuit of which the pipe is a part, and by the application of pressure.

furnace butt welded pipe:

furnace butt welded pipe, bell welded: pipe produced in individual lengths from cut-length skelp, having its longitudinal butt joint forge welded by the mechanical pressure developed in drawing the furnace-heated skelp through a cone-shaped die (commonly known as the "welding bell") that serves as a combined forming and welding die.

furnace butt welded pipe, continuous welded: pipe produced in continuous lengths from coiled skelp and subsequently cut into individual lengths, having its longitudinal butt joint forge welded by the mechanical pressure developed in rolling the hot formed skelp through a set of round pass welding rolls.

furnace lap welded pipe: pipe having a longitudinal lap joint made by the forge welding process wherein coalescence is produced by heating the preformed tube to welding temperature and passing it over a mandrel located between two welding rolls that compress and weld the overlapping edges.

PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO
FUSÃO

PROCESSOS AUTÓGENOS
RESISTÊNCIA, FORJAMENTO

ASME B31.4-2022
(Revision of ASME B31.4-2019)

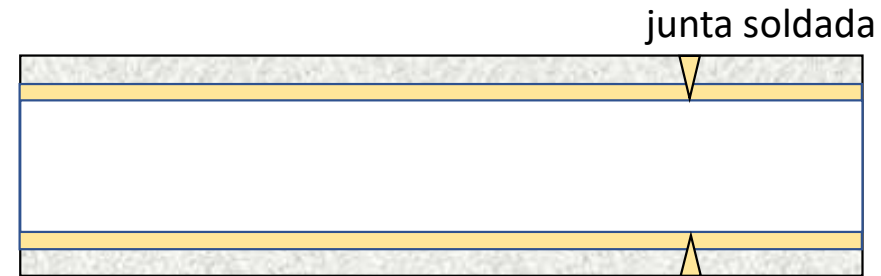
TIPOS E PROCESSOS DE SOLDAGEM

TIPO DE SOLDAGEM	NATUREZA DA ENERGIA	PROCESSO
estado sólido	mecânica	fricção
		explosão
		laminação
		difusão
por fusão	química	oxi-combustível
		aluminotérmica
	elétrica (arco elétrico)	GTAW (TIG)
		SMAW (eletrodo revestido)
		GMAW (MIG/MAG)
		FCAW (arame tubular)
		SAW (arco submerso)
	elétrica (resistência)	ponto
		costura
	física (radiação)	laser
		feixe eletrônico

CLADING
Processo em área grande

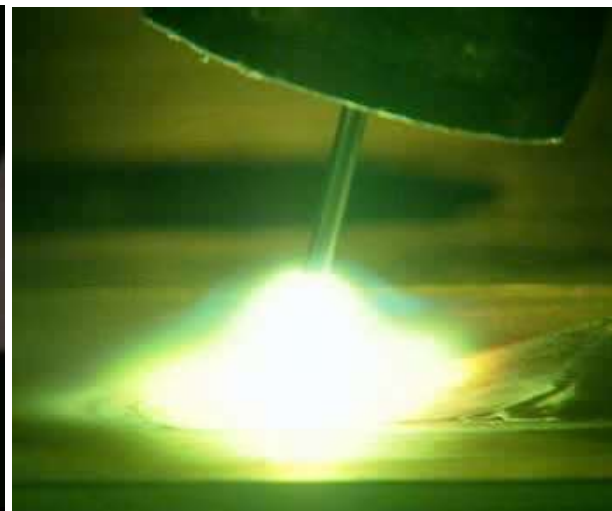
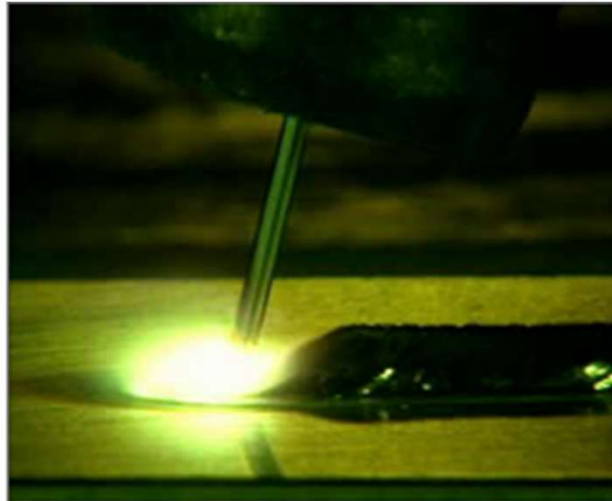
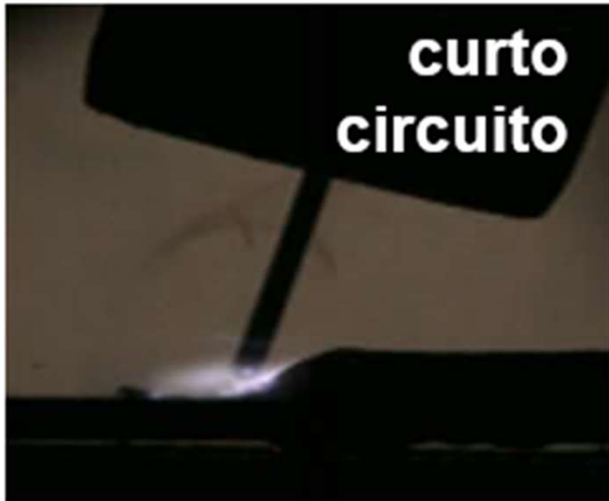
UNIÃO
Processo de fusão localizada, manual, semi-automático, mecanizado ou automático

COSTURA
Processo mecanizado ou automático, localizado mas em longos comprimentos

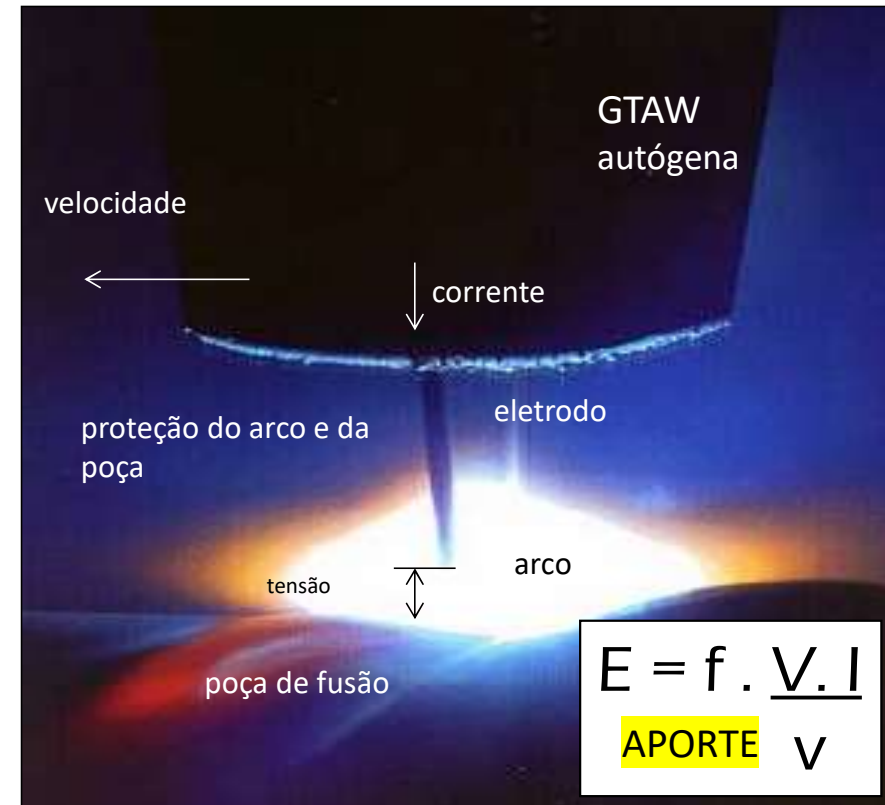


SOLDAS AUTÓGENAS ...

VÍDEOS DE PROCESSOS



FUSÃO LOCALIZADA



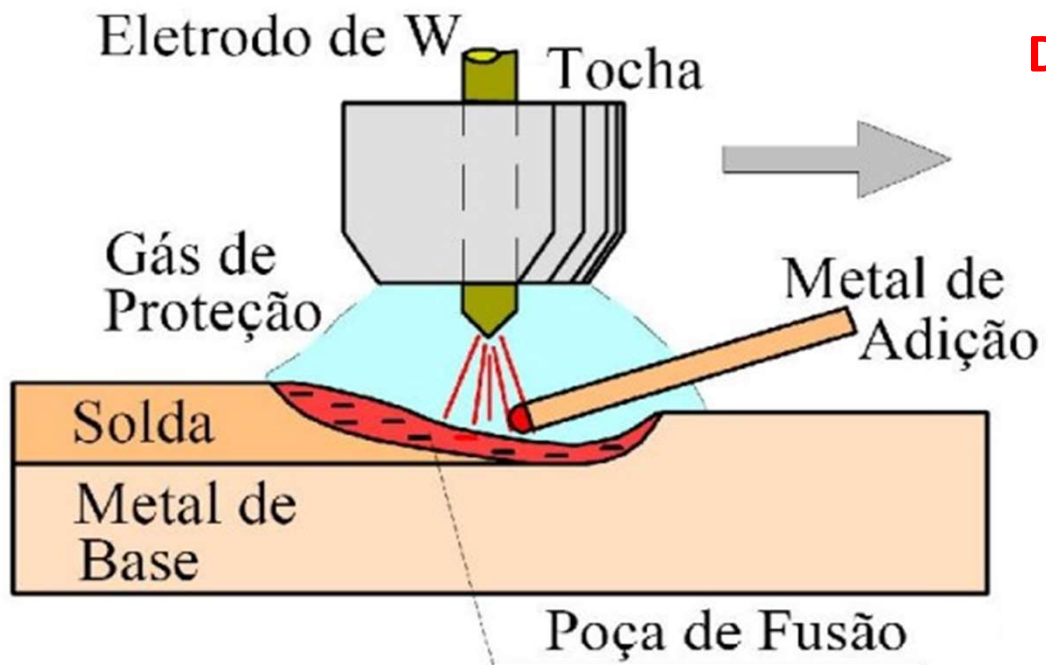
ENERGIA APLICADA NA SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO

O tamanho da poça de fusão está diretamente relacionado com o aporte de calor.



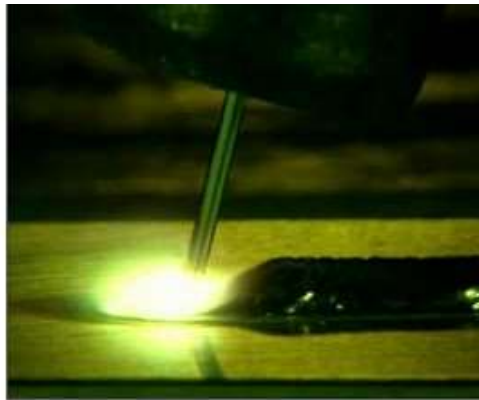
GTAW
TIG

PROCESSO DE SOLDAGEM	TIPO DE ELETRODO	PROTEÇÃO DA POÇA DE FUSÃO	GÁS EXTERNO	METAL DE ADIÇÃO
GTAW TIG	TUNGSTÊNIO NÃO CONSUMÍVEL	GAS INERTE EXTERNO	ARGÔNIO OU HÉLIO	SEM OU VARETA SÓLIDA OU BOBINA DE ARAME SÓLIDO (NÃO ENERGIZADO)



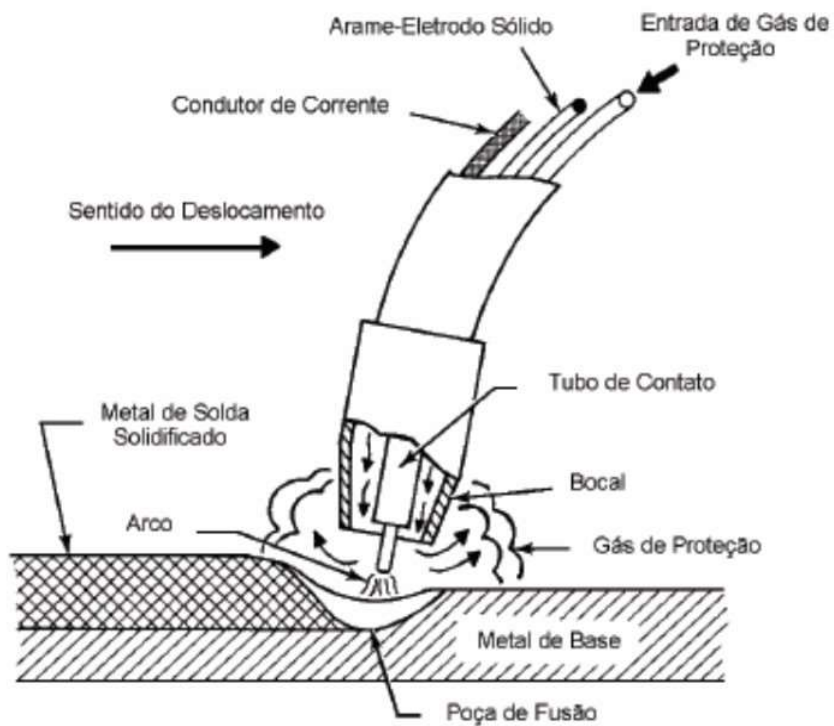
DILUIÇÃO ...





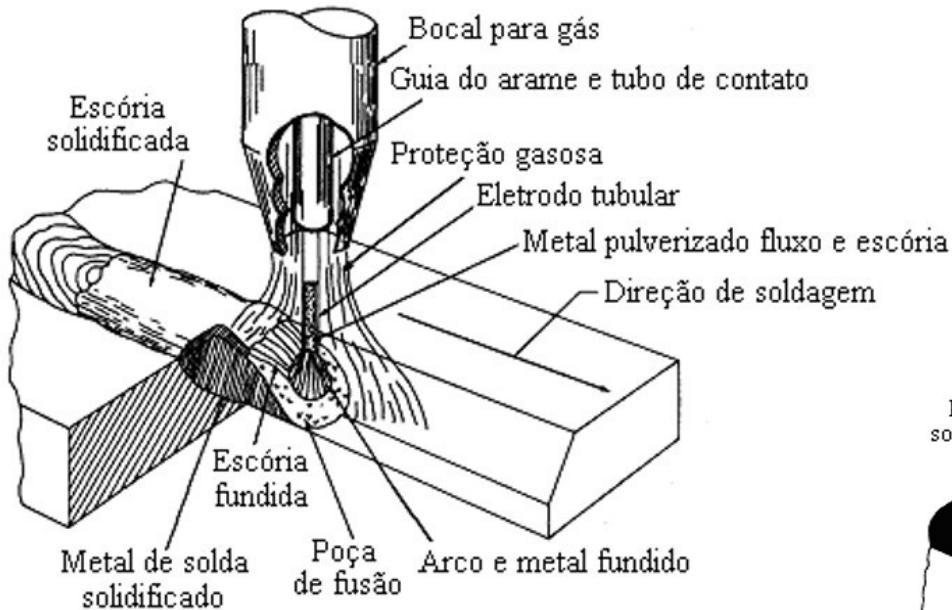
GMAW
MIG/MAG

PROCESSO DE SOLDAGEM	TIPO DE ELETRODO	PROTEÇÃO DA POÇA DE FUSÃO	GÁS EXTERNO	METAL DE ADIÇÃO
GMAW MIG/MAG	METAL CONSUMÍVEL	GAS INERTE OU ATIVO	ARGÔNIO CO2 ARGÔNIO+CO2+...	BOBINA DE ARAME SÓLIDO



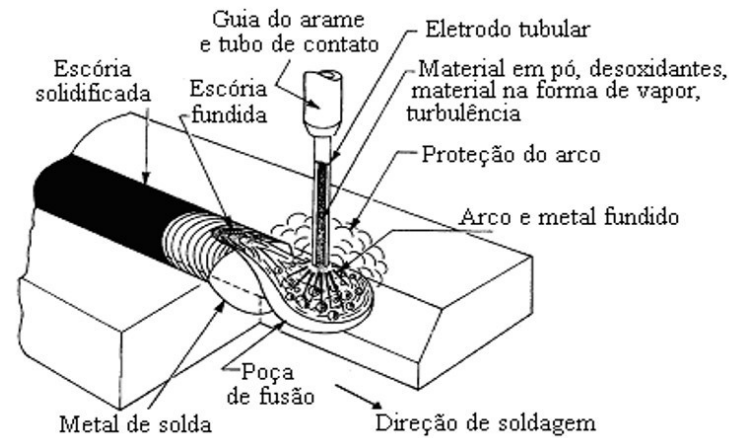
GASES
CO2 (poça quente)
X
MISTURAS ArCO2
(poça mais fria)

PROCESSO DE SOLDAGEM	TIPO DE ELETRODO	PROTEÇÃO DA POÇA DE FUSÃO	GÁS EXTERNO	METAL DE ADIÇÃO
FCAW/MCAW ARAME TUBULAR	METAL CONSUMÍVEL	GAS FORMADO PELA QUEIMA DO FLUXO	PODE SER COM OU SEM PROTEÇÃO GASOSA EXTERNA	BOBINA DE ARAME TUBULAR COM FLUXO INTERNO OU PÓ METÁLICO INTERNO



E70T-1C/MJH8

Electrode	Hydrogen:
Tensile X 10 ksi	H4 = less than 4 ml/100g
O, F & H 1 All Position	H8 = less than 8 ml/100g
Flux-cored (tubular) electrode	Impacts 20 ft.lb. @ -40°F
Gas type, usability and performance capabilities	C = 100% CO ₂
	M = Mixed Gas: 75%-80% Ar, balance CO ₂



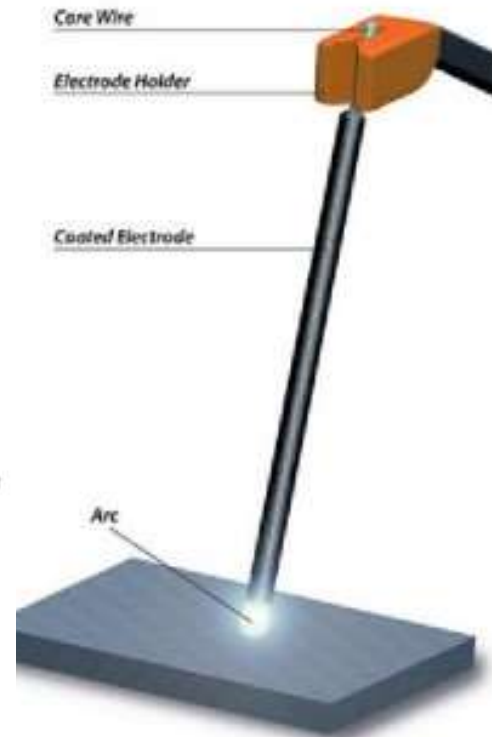
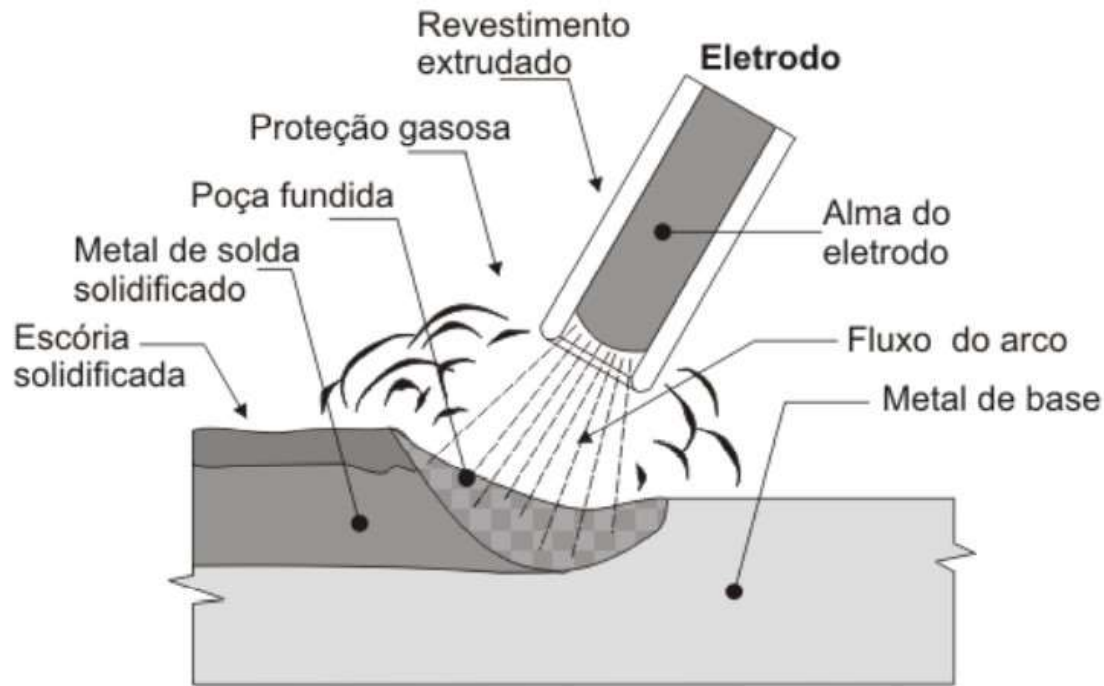
FLUXO ...



SMAW
Eletrodo
revestido

PROCESSO DE SOLDAGEM	TIPO DE ELETRODO	PROTEÇÃO DA POÇA DE FUSÃO	GÁS EXTERNO	METAL DE ADIÇÃO
SMAW ELETRODO REVESTIDO	METAL CONSUMÍVEL	GAS FORMADO PELA QUEIMA DO REVESTIMENTO	NÃO	VARETA SÓLIDA COM FLUXO EXTERNO SINTERIZADO

REVESTIMENTO ...



E7018-1 H4R

Electrode _____
Tensile in ksi _____
Position _____
Type of coating and current _____
Meets lower temperature impact requirements _____
Hydrogen: H4 = less than 4 ml/100 g, H8 = Less than 8 ml/100 g _____
Meets requirements of absorbed moisture test _____

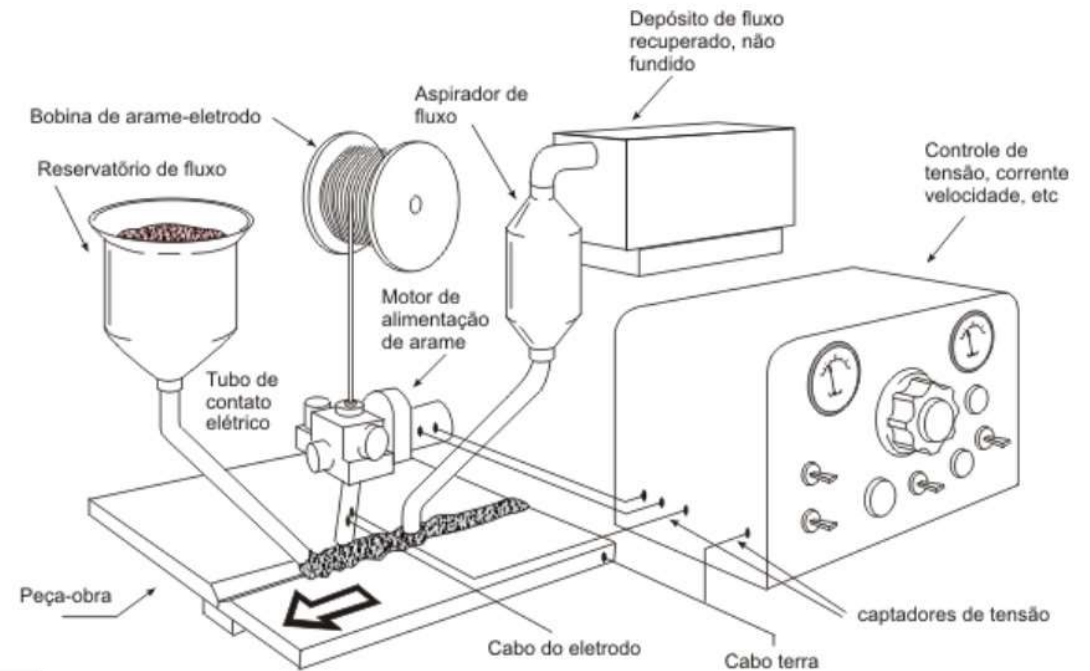
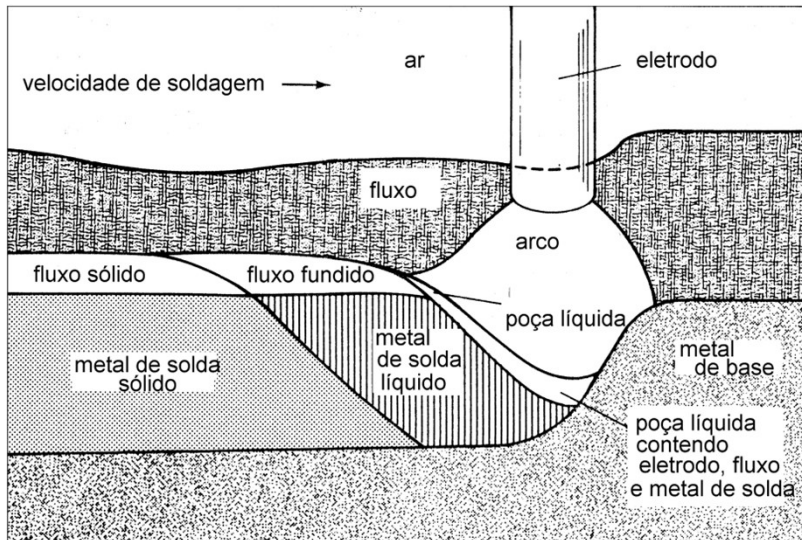
Position

- 1 Flat, Horizontal, Vertical, Overhead
- 2 Flat and Horizontal only





PROCESSO DE SOLDAGEM	TIPO DE ELETRODO	PROTEÇÃO DA POÇA DE FUSÃO	GÁS EXTERNO	METAL DE ADIÇÃO
SAW ARCO SUBMERSO	METAL CONSUMÍVEL	GAS FORMADO PELA QUEIMA DO REVESTIMENTO	NÃO	BOBINA DE ARAME SÓLIDO



	C	Mn	Si	S	P	Cu
AWS EL8	≤0.10	0.30-0.60	≤0.03	≤0.030	≤0.030	≤0.20
AWS EM12	≤0.10	0.80-1.10	≤0.07	≤0.030	≤0.030	≤0.20
AWS EH14	≤0.12	1.50-1.90	≤0.07	≤0.030	≤0.030	≤0.20

FLUXO ...

PROCESSO DE SOLDAGEM	TIPO DE ELETRODO	PROTEÇÃO DA POÇA DE FUSÃO	METAL DE SOLDA	METAL DE ADIÇÃO
GTAW TIG	TUNGSTÊNIO NÃO CONSUMÍVEL	ARGÔNIO OU HÉLIO	DILUIÇÃO	SEM OU VARETA SÓLIDA OU BOBINA DE ARAME SÓLIDO (NÃO ENERGIZADO)
GMAW MIG/MAG	METAL CONSUMÍVEL	ARGÔNIO (não ferrosos) CO2 ARGÔNIO+CO2+...	GASES ATIVOS GERAM ENERGIA	BOBINA DE ARAME SÓLIDO
SMAW ELETRODO REVESTIDO	METAL CONSUMÍVEL	GAS FORMADO PELA QUEIMA DE FLUXO	ELEMENTOS DE LIGA NO REVESTIMENTO	VARETA SÓLIDA COM FLUXO EXTERNO SINTERIZADO
FCAW/MCAW ARAME TUBULAR	METAL CONSUMÍVEL	GAS FORMADO PELA QUEIMA DE FLUXO	ELEMENTOS DE LIGA NO FLUXO	BOBINA DE ARAME TUBULAR COM FLUXO INTERNO OU PÓ METÁLICO INTERNO
SAW ARCO SUBMERSO	METAL CONSUMÍVEL	GAS FORMADO PELA QUEIMA DE FLUXO	ELEMENTOS DE LIGA NO FLUXO	BOBINA DE ARAME SÓLIDO

PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO

PROCESSO ESPECIAL

CONSUMÍVEL
Fabricantes / lotes

GASES / FLUXOS
Fabricantes / lotes

ENERGIA
Velocidade do arco

ARCO ELÉTRICO
tensão, corrente

DISPOSITIVOS

SOLDADOR
OPERADOR

MANUAL, SEMI-AUTOMÁTICA, MECANIZADA, AUTOMÁTICA, ROBOTIZADA

ALIMENTAÇÃO DE
CONSUMÍVEL

MEIO
vento, força, turno

PRÉ-AQUECIMENTO

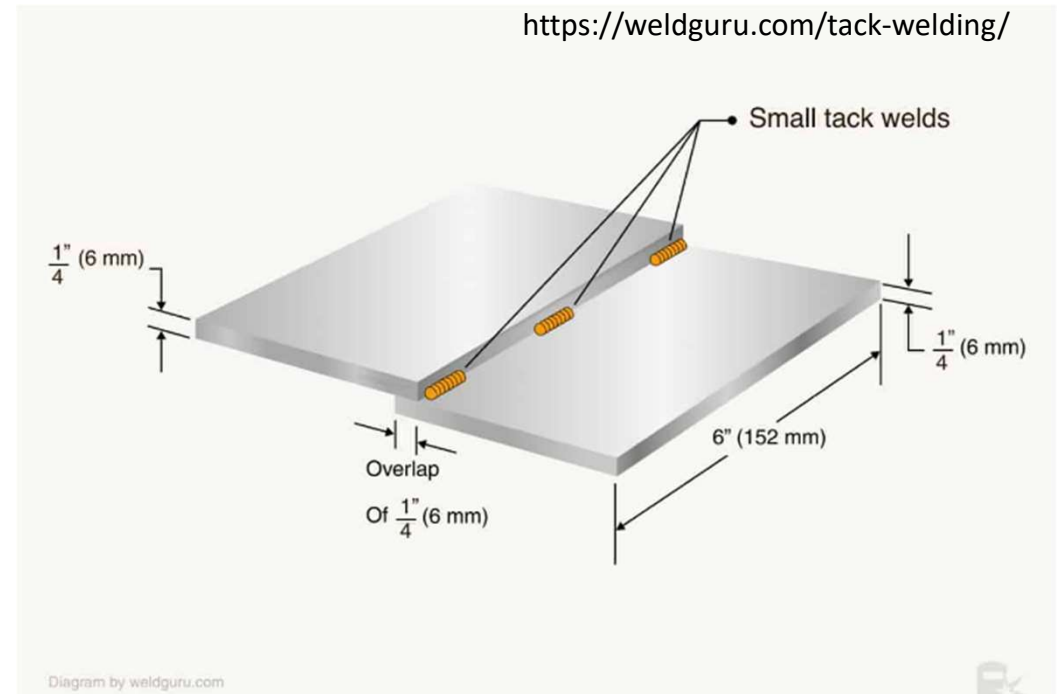
PEÇA
Geometria
Espessuras
posições

TOCHA
comprimento
ângulo de ataque
diâmetro do bocal

TAXA DE
DEPOSIÇÃO

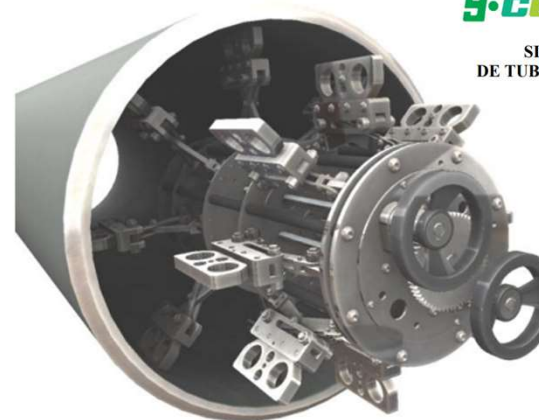
*tack weld*¹: a weld made to hold parts of a weldment in proper alignment until the final welds are made.

PONTEAMENTO,
para ajuste e
alinhamento de
peças que serão
soldadas.



girth weld: a complete circumferential butt weld joining pipe or components.

Para soldas de topo,
circunferenciais (girth) pode
ser usado ajuste mecânico,
sem ponteamento, com
acopladeira.



g-coBeF

9º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação
Joinville, Santa Catarina, Brasil
Copyright © 2017 ABCM

SISTEMA MECÂNICO MODULAR PARA ACOPLAMENTO
DE TUBOS A SEREM UNIDOS POR SOLDAGEM E SUSTENTAÇÃO DA
POÇA METÁLICA

ASME B31.4-2022
(Revision of ASME B31.4-2019)

CONSUMÍVEIS

Observar que a classe de resistência do metal de base está relacionada com a tensão limite de escoamento (LE) enquanto a classe de resistência do consumível está relacionada com a tensão limite de resistência (LR).

X65 (PSL1) – LE 65 Ksi min / LR 77Ksi min

X80 (PSL2) – LE 80-100 Ksi / LR 90-120 Ksi

Especificamente no caso de arco submerso (SAW) não fica tão fácil identificar, pois a designação do consumível é uma combinação de arame com fluxo, mas no caso de processos como eletrodo revestido (SMAW), TIG (GTAW) ou MIG/MAG (GMAW), dá para perceber que um tubo X80 precisaria ser soldado com consumíveis classe 90 ou 100, por exemplo no mínimo AWS E90XX ou AWS ER 90S-XX.

ASME B31.4-2022

(Revision of ASME B31.4-2019)

SOLDA

*weld*¹: a localized coalescence of metals or nonmetals produced either by heating the materials to the welding temperature, with or without the application of pressure, or by the application of pressure alone and with or without the use of filler material.

SOLDADOR

*welder*¹: one who performs manual or semiautomatic welding.

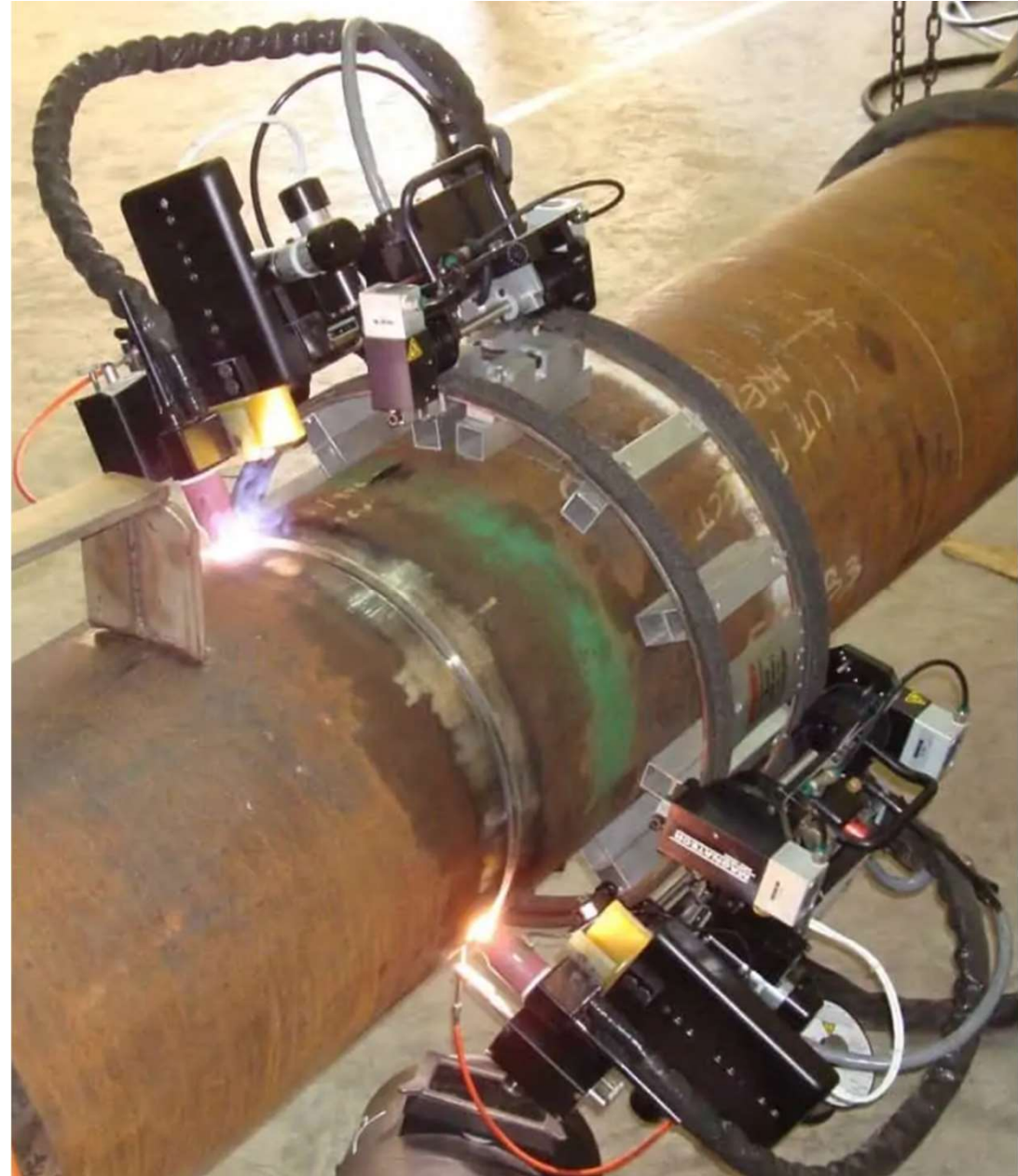
OPERADOR

*welding operator*¹: one who operates adaptive control, automatic, mechanized, or robotic welding equipment.

*welding procedures*¹: the detailed methods and practices involved in the production of a weldment.

PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

[What-is-an-Orbital-Welding-Machine-1030x1030.jpg \(1030x1030\) \(hardfacingfty.com\)](#)



Método de Aplicação	<i>semiautomatic welding</i> ¹ : manual welding with equipment that automatically controls one or more of the welding conditions.			<i>automatic welding</i> ¹ : welding with equipment that requires only occasional or no observation of the welding, and no manual adjustment of the equipment controls.	
	Manual	Semi-automático	Mecanizado	Automático	Robotizado
Atividades					
Abertura e manutenção do arco	Humano	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
Alimentação do arame/eletrodo	Humano	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina
Controle do calor para obter penetração	Humano	Humano	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
Movimento do arco ao longo da junta	Humano	Humano	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
Guiar o arco ao longo da junta	Humano	Humano	Humano	Máquina (via trilha pré programada)	Máquina (com sensor)
Manipular a tocha para direcionar o arco	Humano	Humano	Humano	Máquina	Máquina (com sensor)
Correções do arco para compensar desvios	Humano	Humano	Humano	Não ocorre	Máquina (com sensor)

SOLDAGEM

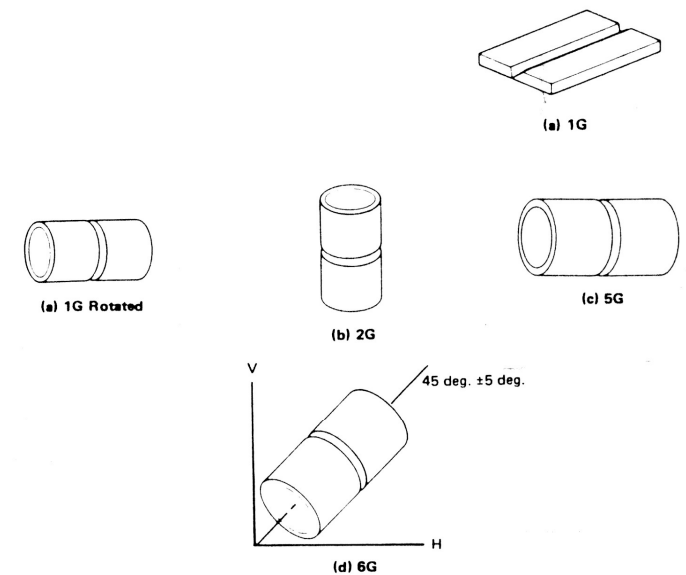
COSTURA (fabricação)

costura longitudinal ou helicoidal em condições ambientais controladas
soldagem mecanizada, sempre na posição plana
testes por lote e inspeção 100% (em linha)

X

SOLDA CIRCUNFERENCIAL (montagem)

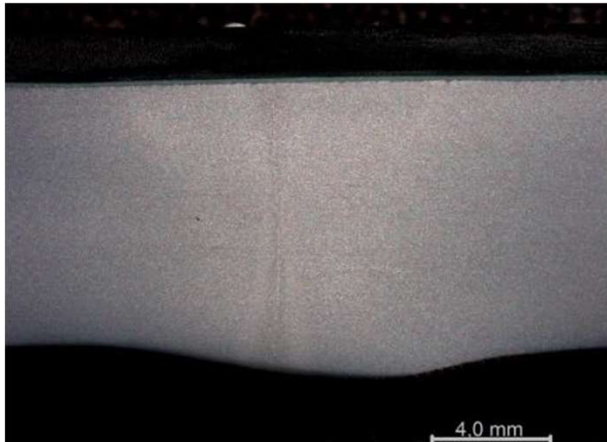
soldagem de topo em campo
com raiz e enchimento, posição 5G ou 6G
problemas de acesso
condições climáticas instáveis
soldagem manual, semi-automática ou automática (produtividade)



QW-461.4 GROOVE WELDS IN PIPE — TEST POSITIONS

COSTURA

seam weld: longitudinal or helical weld in pipe.



RESISTÊNCIA

ARCO ELÉTRICO



double submerged arc welded pipe: pipe having a longitudinal or helical seam butt joint produced by at least two passes, one of which is on the inside of the pipe. Coalescence is produced by heating with an electric arc or arcs between the bare metal electrode or electrodes and the work. The welding is shielded by a blanket of granular, fusible material on the work. Pressure is not used and filler metal for the inside and outside welds is obtained from the electrode or electrodes.

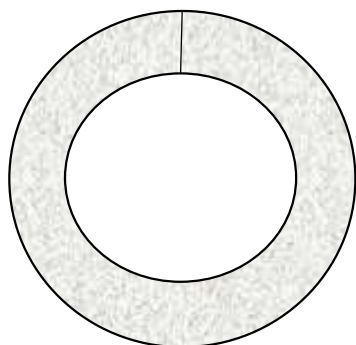
ASME B31.4-2022
(Revision of ASME B31.4-2019)

**AWS WELDING
HANDBOOK
VOLUME 4
METALS AND THEIR
WELDABILITY**

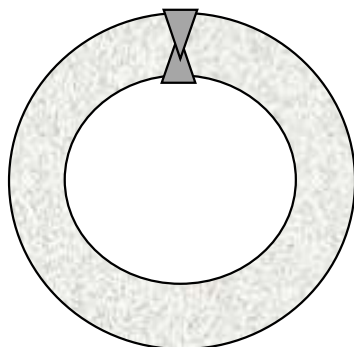
FABRICAÇÃO DE TUBOS API 5L

FABRICAÇÃO

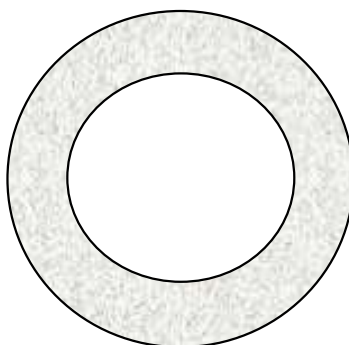
costura autógena



costura com consumível

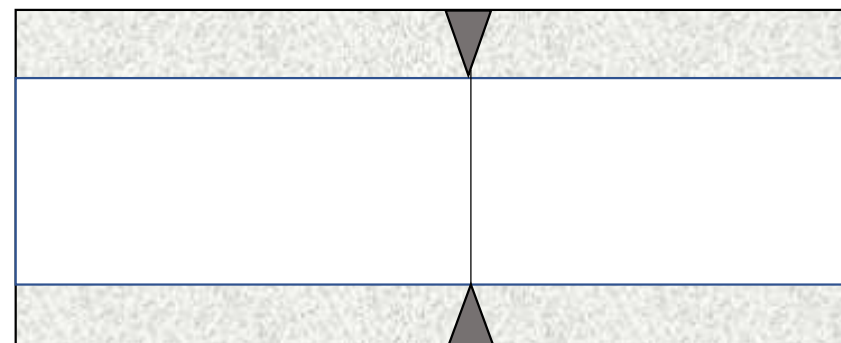


sem costura



MONTAGEM

junta soldada circunferencial



Helical Welded Pipes



Longitudinal Welded Pipes



AValiação de TENSões RESIDUAIS EM TUBOS SOLDADOS HELICOIDAL E "UOE" PARA DUTOS ¹

<http://www.octgproducts.com/difference-between-helical-welded-pipes-and-longitudinal-welded-pipes.html>

Table 2 — Acceptable processes of manufacture and product specification levels

Type of pipe or pipe end	PSL 1 pipe grade ^a					PSL 2 pipe grade ^a		
	L175 or A25 ^b	L175P or A25P ^b	L210 or A	L245 or B	L290 or X42 to L485 or X70	L245 or B to L555 or X80	> L555 or X80 to L690 or X100	>L690 or X100 to L830 or X120
Type of pipe								
SMLS	X	X	X	X	X	X	X	
CW	X	X						
LFW	X		X	X	X			
HFW	X		X	X	X	X		
LW					X			
SAWL ^c			X	X	X	X	X	X
SAWH ^d			X	X	X	X	X	X
COWL ^c			X	X	X	X		
COWH ^d			X	X	X	X		
Type of pipe end								
Belled end ^e	X		X	X	X			
Plain end	X		X	X	X	X	X	X
Plain end for special coupling	X		X	X				
Threaded end ^f	X	X	X	X				

^a Intermediate grades are available if agreed, but limited to grades higher than Grade L290 or X42.

^b Grades L175, L175P, A25 and A25P are limited to pipe with $D \leq 141,3$ mm (5.563 in).

^c Double-seam pipe is available if agreed, but limited to pipe with $D \leq 914$ mm (36.000 in).

^d Helical-seam pipe is limited to pipe with $D \leq 114,3$ mm (4.500 in).

^e Belled-end pipe is limited to pipe with $D \leq 219,1$ mm (8.625 in) and $t \leq 3,6$ mm (0.141 in).

^f Threaded-end pipe is limited to SMLS and longitudinal seam welded pipes with $D \leq 508$ mm (20.000 in).



Belled end

PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO ACEITÁVEIS

API SPECIFICATION 5L

4.56

seamless pipe
SMLS pipe

pipe without a welded seam, produced by a hot-forming process, which can be followed by cold sizing or cold finishing to produce the desired shape, dimensions and properties

4.13

CW pipe

continuous welded pipe

tubular product having one longitudinal seam produced by continuous welding

4.34

low frequency electric welded pipe

LFW pipe

EW pipe produced with a welding current frequency less than 70 kHz

4.23

HFW pipe

high-frequency welded pipe

EW pipe produced with a welding current frequency equal to or greater than 70 kHz

4.33

laser welding

LW

process of forming a seam by using a laser-beam keyhole welding technique to produce melting and coalescence of the edges to be welded, with or without preheating of the edges, wherein shielding is obtained from an externally supplied gas or gas mixture

4.53

SAWH pipe

submerged-arc helical welded pipe

tubular product having one helical seam produced by the submerged-arc welding process

4.54

SAWL pipe

submerged-arc longitudinal welded pipe

tubular product having one or two longitudinal seams produced by submerged-arc welding

4.12

COW seam

combination welding seam

longitudinal or helical seam produced by a combination of gas metal-arc and submerged-arc welding wherein the gas-metal arc weld bead is not completely removed by the submerged-arc welding passes

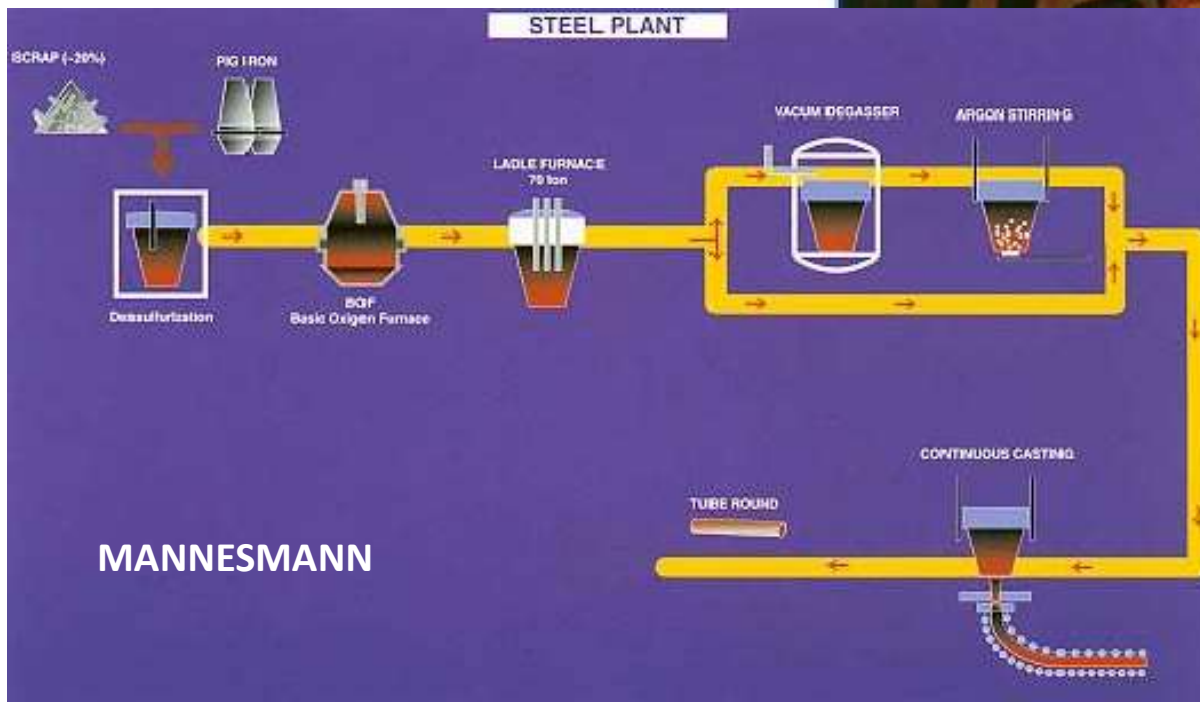
4.19

electric welding

EW

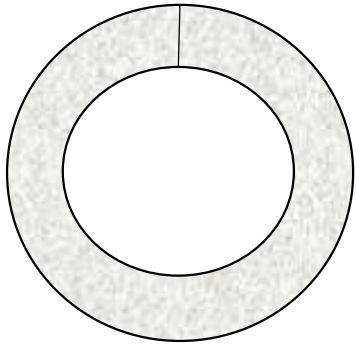
process of forming a seam by electric-resistance welding, wherein the edges to be welded are mechanically pressed together and the heat for welding is generated by the resistance to flow of electric current applied by induction or conduction

SEM COSTURA



A COSTURA AUTÓGENA
REQUER TRATAMIENTO
TÉRMICO POSTERIOR,
NORMALIZAÇÃO.
CUIDADO COM ALTA
RESISTÊNCIA E COM PSL2

costura
autógena



8.8 Treatment of weld seams in EW and LW pipes

8.8.1 PSL 1 EW pipe

For grades higher than Grade L290 or X42, the weld seam and the HAZ shall be heat treated so as to simulate a normalizing heat treatment, except that, if agreed, alternative heat treatments may be substituted. If such substitutions are made, the manufacturer shall demonstrate the effectiveness of the method selected using an agreed procedure. Such a procedure may include, but is not necessarily limited to, hardness testing, microstructural evaluation or mechanical testing.

For grades equal to or lower than Grade L290 or X42, the weld seam shall be heat treated so as to simulate a normalizing heat treatment, or the pipe shall be processed in such a manner that no untempered martensite remains.

8.8.2 LW pipe and PSL 2 HFW pipe

For all grades, the weld seam and the entire HAZ shall be heat treated so as to simulate a normalizing heat treatment.

Table 2 — Acceptable processes of manufacture and product specification levels

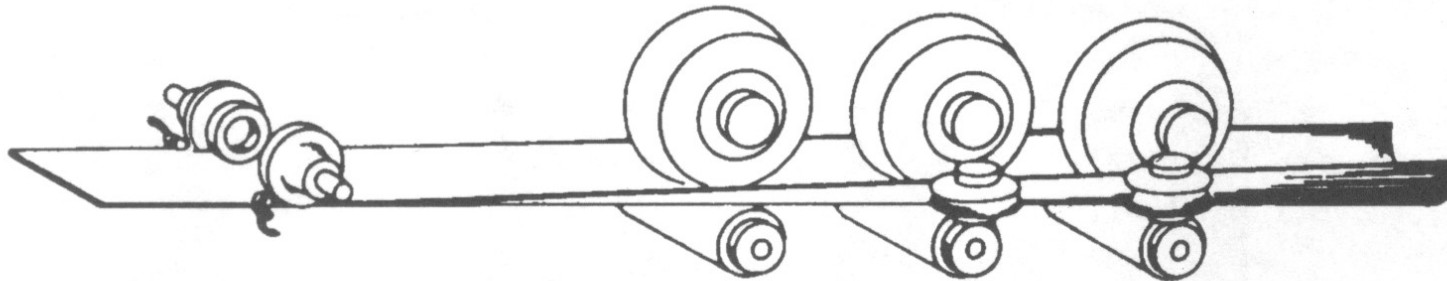
Type of pipe or pipe end	PSL 1 pipe grade ^a					PSL 2 pipe grade ^a		
	L175 or A25 ^b	L175P or A25P ^b	L210 or A	L245 or B	L290 or X42 to L485 or X70	L245 or B to L555 or X80	> L555 or X80 to L690 or X100	>L690 or X100 to L830 or X120
Type of pipe								
SMLS	X	X	X	X	X	X	X	
CW	X	X						
LFW	X		X	X	X			
HFW	X		X	X	X	X		
LW					X			
SAWL ^c			X	X	X	X	X	X
SAWH ^d			X	X	X	X	X	X
COWL ^c			X	X	X	X		
COWH ^d			X	X	X	X		
Type of pipe end								
Belled end ^e	X		X	X	X			
Plain end	X		X	X	X	X	X	X
Plain end for special coupling	X		X	X				
Threaded end ^f	X	X	X	X				
^a Intermediate grades are available if agreed, but limited to grades higher than Grade L290 or X42. ^b Grades L175, L175P, A25 and A25P are limited to pipe with $D \leq 141,3$ mm (5.563 in). ^c Double-seam pipe is available if agreed, but limited to pipe with $D \leq 914$ mm (36.000 in). ^d Helical-seam pipe is limited to pipe with $D \leq 114,3$ mm (4.500 in). ^e Belled-end pipe is limited to pipe with $D \leq 219,1$ mm (8.625 in) and $t \leq 3,6$ mm (0.141 in). ^f Threaded-end pipe is limited to SMLS and longitudinal seam welded pipes with $D \leq 508$ mm (20.000 in).								

COSTURA AUTÓGENA

LONGITUDINAL

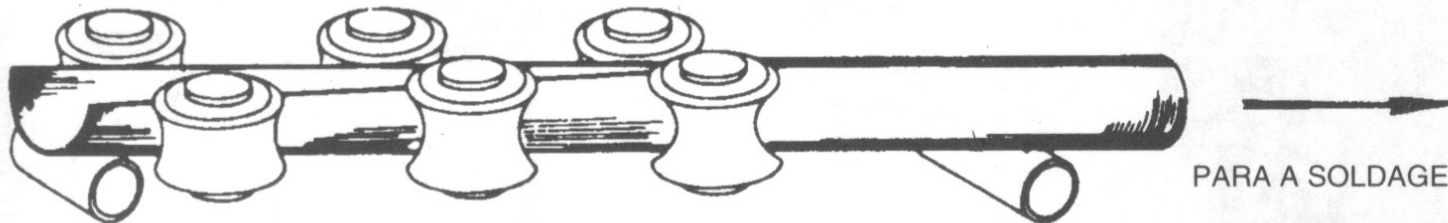
4.19 electric welding EW

process of forming a seam by electric-resistance welding, wherein the edges to be welded are mechanically pressed together and the heat for welding is generated by the resistance to flow of electric current applied by induction or conduction



CORTE LATERAL DA BOBINA DE CHAPA

ROLOS CONFORMADORES (1ª ETAPA)



ROLOS CONFORMADORES (2ª ETAPA)

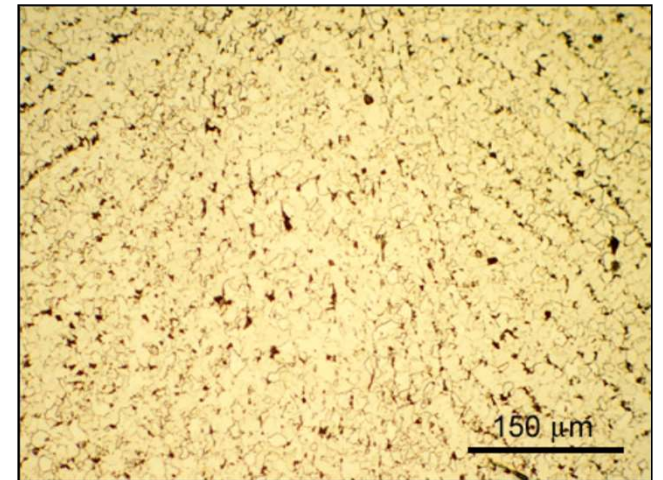
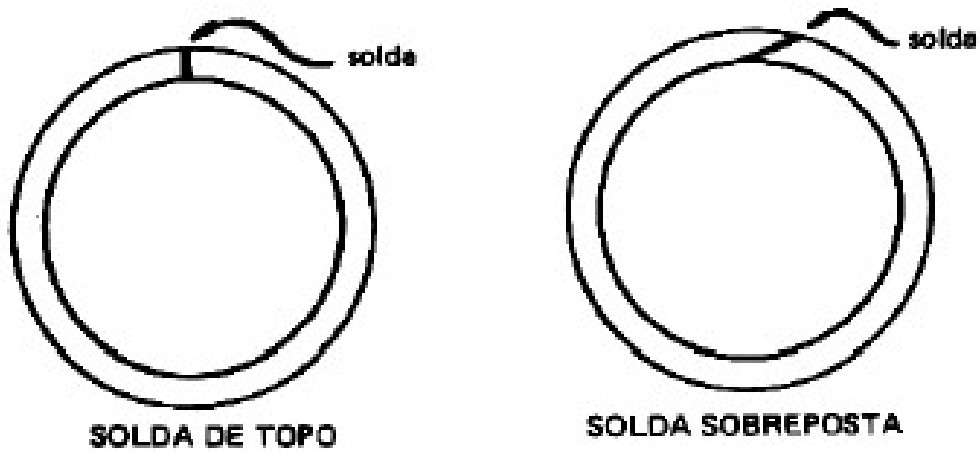
PARA A SOLDAGEM

COSTURA AUTÓGENA

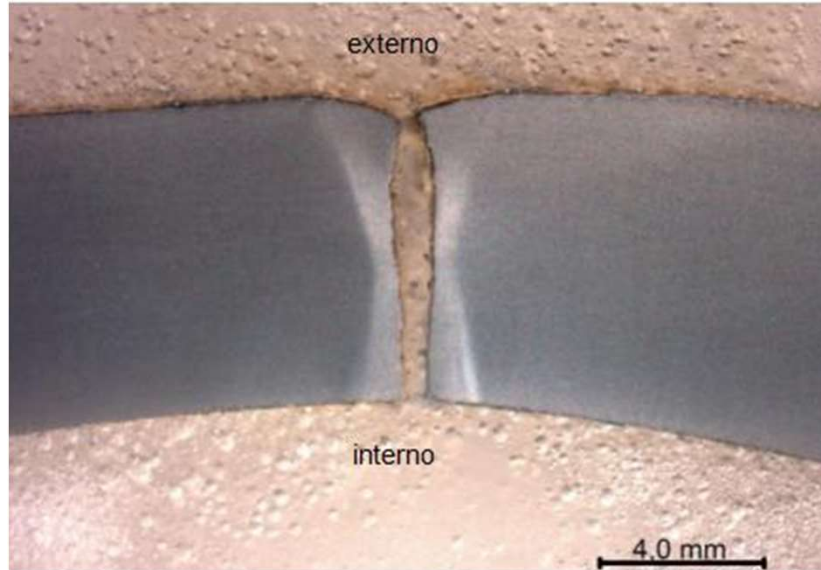
ESPIRAL



Fig. 4 Tubo com solda em espiral

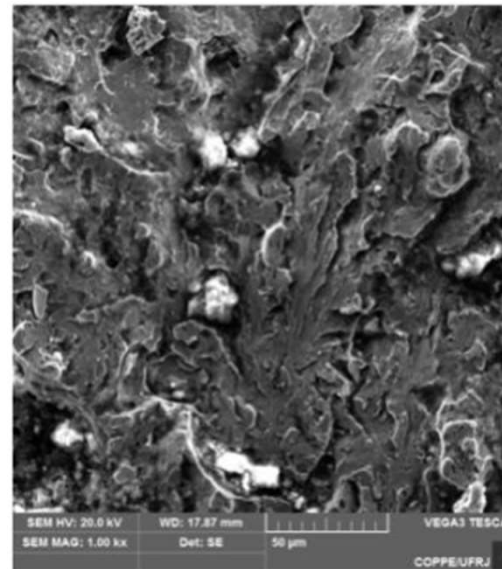


costura por solda de resistência

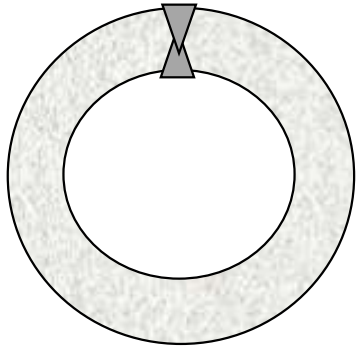


FALHA NO TH
Ø 18"
PSL1

Baixa espessura na região da falha, devido a um processo de desbaste em retrabalho durante a manufatura do tubo, concentrando a deformação;
Processo de tratamento térmico pós soldagem (da costura) ineficiente em restaurar a microestrutura na região fundida, devido a um desalinhamento entre o local de indução e o local da solda, na extremidade do tubo identificada como início de processo, deixando uma microestrutura ainda grosseira e de baixa tenacidade.
Tensões residuais da solda de montagem, somadas às tensões aplicadas no teste hidrostático.



costura com
consumível

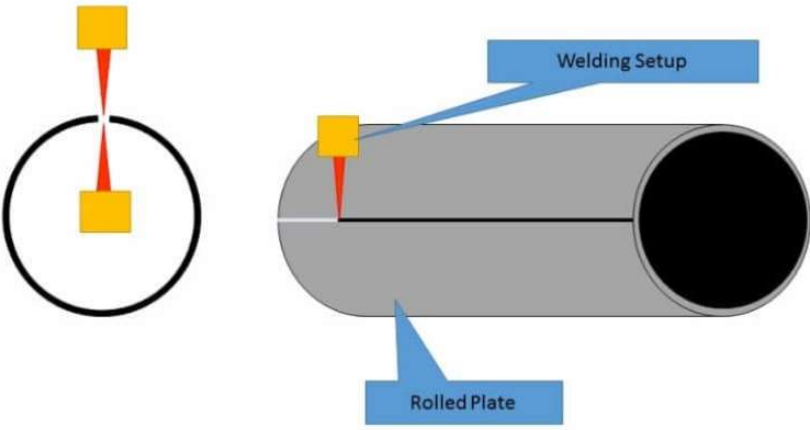
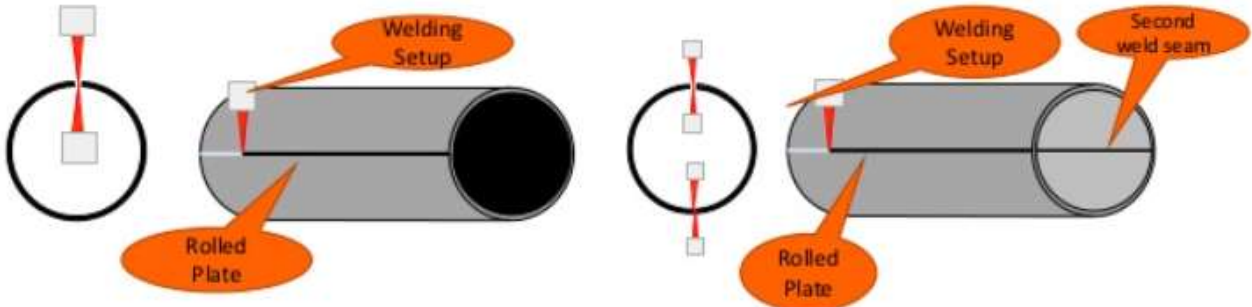


A COSTURA COM
CONSUMÍVEL PODE SER
FEITA POR SAW OU UM
PROCESSO COMBINADO
COM GMAW.

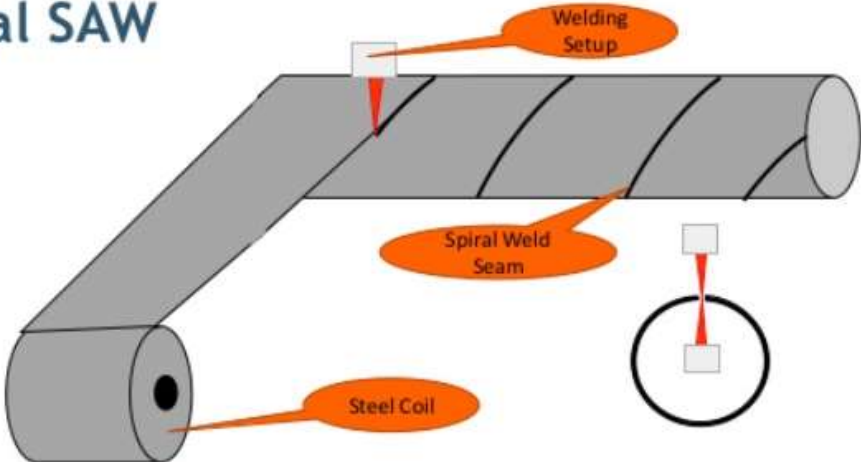
Table 2 — Acceptable processes of manufacture and product specification levels

Type of pipe or pipe end	PSL 1 pipe grade ^a					PSL 2 pipe grade ^a		
	L175 or A25 ^b	L175P or A25P ^b	L210 or A	L245 or B	L290 or X42 to L485 or X70	L245 or B to L555 or X80	> L555 or X80 to L690 or X100	>L690 or X100 to L830 or X120
Type of pipe								
SMLS	X	X	X	X	X	X	X	
CW	X	X						
LFW	X		X	X	X			
HFW	X		X	X	X	X		
LW					X			
SAWL ^c			X	X	X	X	X	X
SAWH ^d			X	X	X	X	X	X
COWL ^c			X	X	X	X		
COWH ^d			X	X	X	X		
Type of pipe end								
Belled end ^e	X		X	X	X			
Plain end	X		X	X	X	X	X	X
Plain end for special coupling	X		X	X				
Threaded end ^f	X	X	X	X				
^a Intermediate grades are available if agreed, but limited to grades higher than Grade L290 or X42. ^b Grades L175, L175P, A25 and A25P are limited to pipe with $D \leq 141,3$ mm (5.563 in). ^c Double-seam pipe is available if agreed, but limited to pipe with $D \leq 914$ mm (36.000 in). ^d Helical-seam pipe is limited to pipe with $D \leq 114,3$ mm (4.500 in). ^e Belled-end pipe is limited to pipe with $D \leq 219,1$ mm (8.625 in) and $t \leq 3,6$ mm (0.141 in). ^f Threaded-end pipe is limited to SMLS and longitudinal seam welded pipes with $D \leq 508$ mm (20.000 in).								

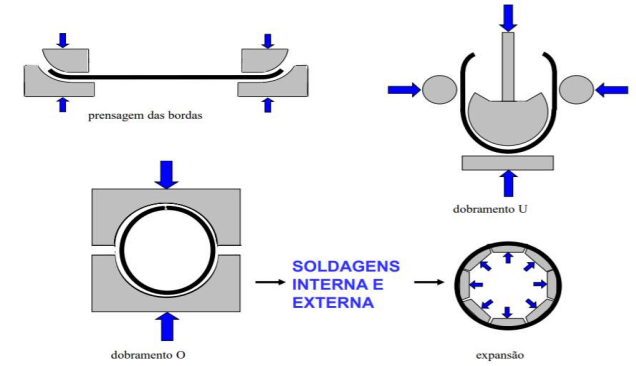
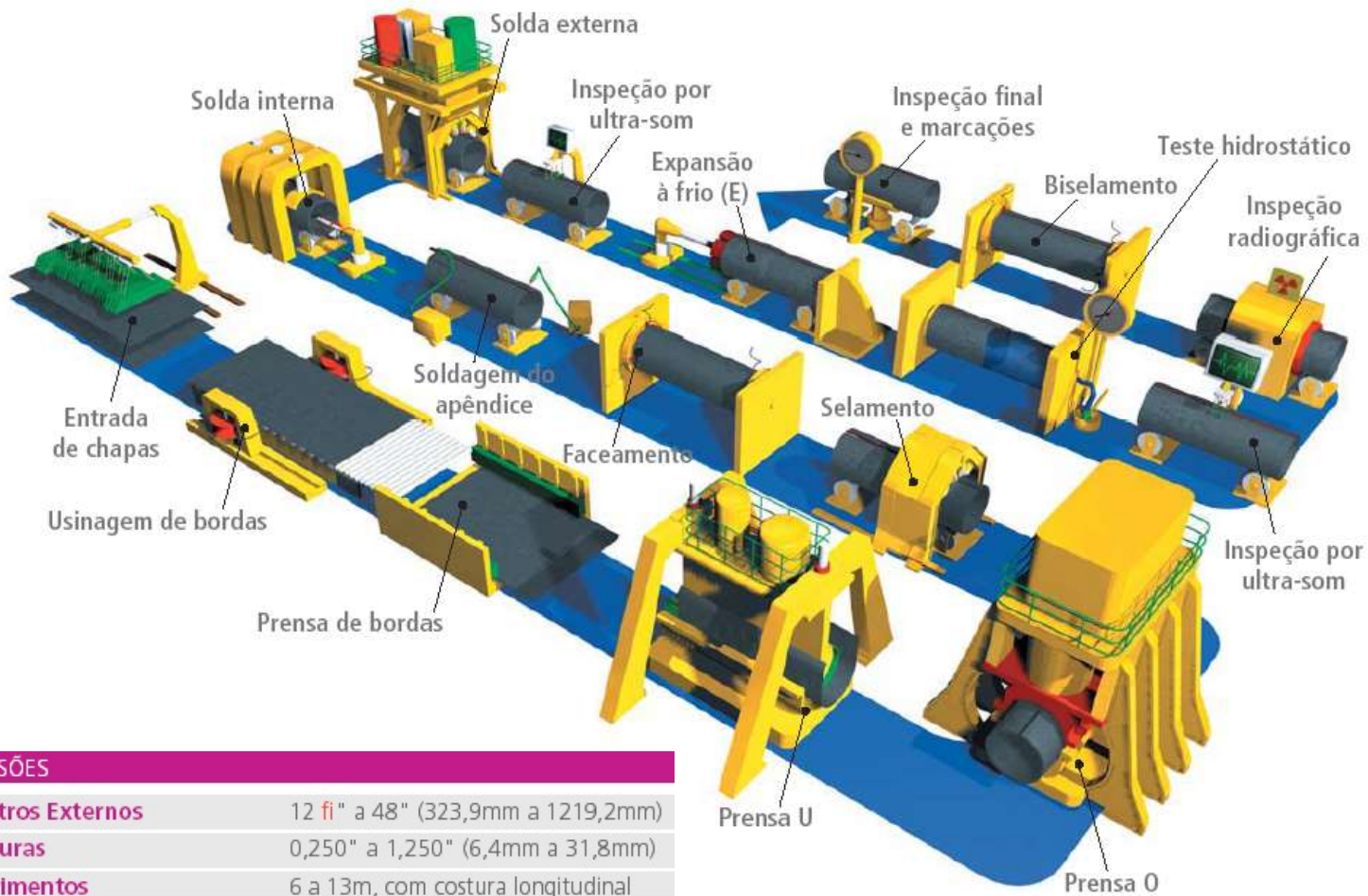
Longitudinal-SAW (L-SAW)



Spiral SAW



Processo de Fabricação SAW Longitudinal (U-O-E)



FONTE – UOE: VIEIRA (2012)

**COSTURA COM
CONSUMÍVEL**

DIMENSÕES	
Diâmetros Externos	12 ft" a 48" (323,9mm a 1219,2mm)
Espessuras	0,250" a 1,250" (6,4mm a 31,8mm)
Comprimentos	6 a 13m, com costura longitudinal

CONFAB

TENSIONAMENTO RESIDUAL

Tensões residuais são geradas na soldagem devido ao aquecimento em alta temperatura de forma muito localizada, que plastifica regiões adjacentes à solda e as mantém com um nível de tensões internas de magnitude próxima a do limite de escoamento do material.

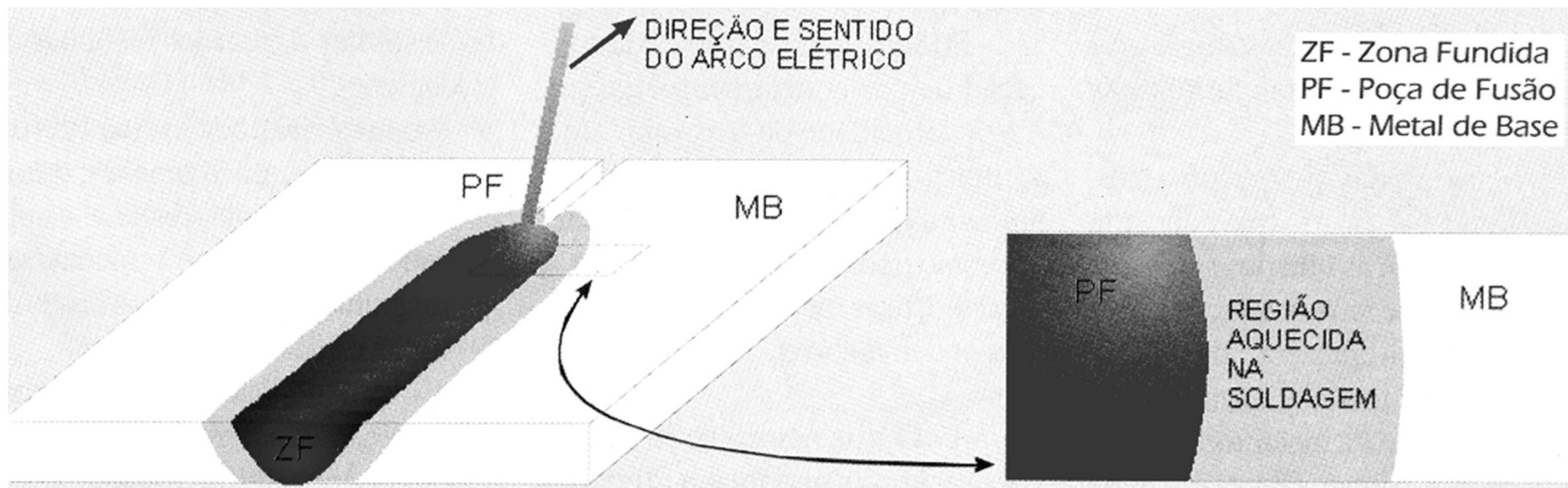
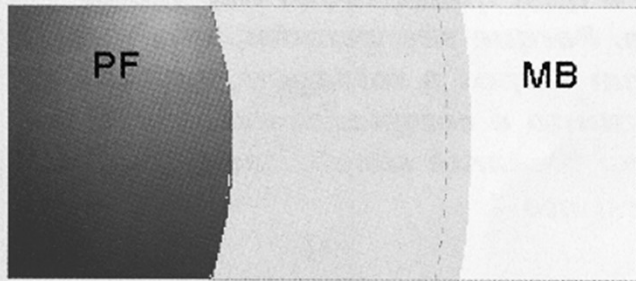


Figura 2a



DILATAÇÃO QUE OCORRERIA CASO A REGIÃO ESTIVESSE LIVRE

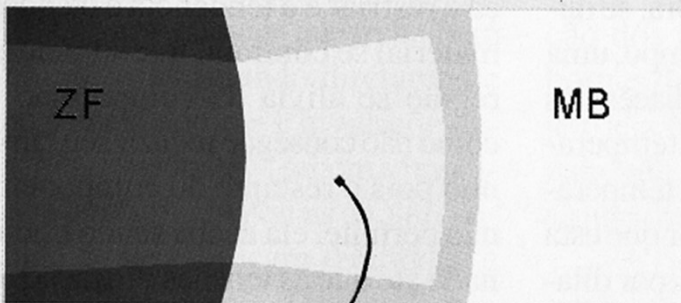
TENSÕES COMPRESSIVAS $\downarrow \sigma_c$



TENSÕES COMPRESSIVAS $\uparrow \sigma_c$ E DEFORMAÇÃO

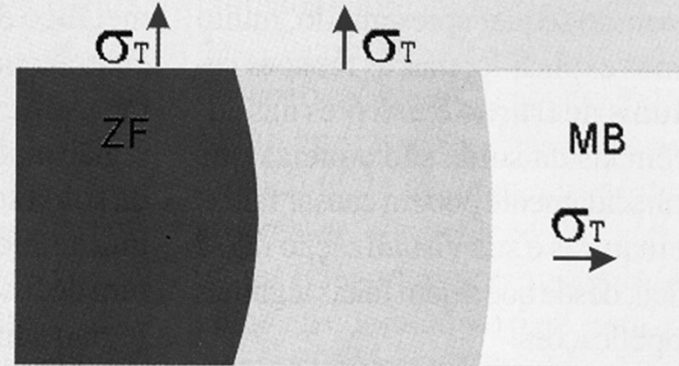
AUSÊNCIA DE DILATAÇÃO POIS A REGIÃO ESTÁ RESTRITA

Figura 2b



CONTRAÇÃO QUE OCORRERIA CASO A REGIÃO ESTIVESSE LIVRE

TENSÕES TRATIVAS



TENSÕES TRATIVAS E DEFORMAÇÃO

TENSÕES RESIDUAIS GERADAS POIS A REGIÃO ESTÁ RESTRITA

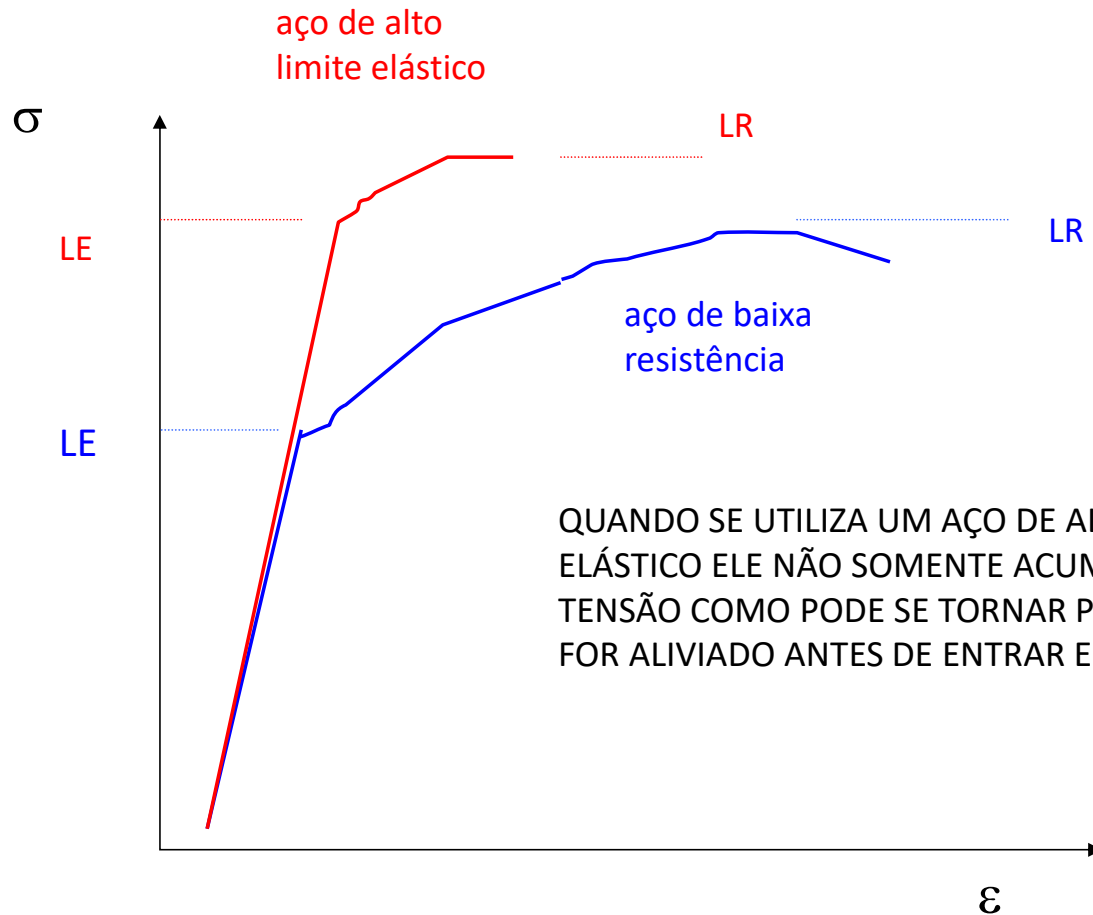
Analysis of Welding Residual Stresses and Its Applications

Byeong-Choon Goo,
Jung-Won Seo and
Seung-Yong Yang
*Korea Railroad Research
Institute Korea*

Tensões Residuais de Soldagem

Annelise Zeemann,
1998
ABS - Revista
Soldagem e Inspeção

O NÍVEL DAS TENSÕES RESIDUAIS DEPENDE DO TIPO DE AÇO (Relação LE/LR) ASSIM COMO A NECESSIDADE DE ALIVIAR



$$\frac{LE}{LR} - \frac{\text{limite de escoamento}}{\text{limite de resistência}}$$

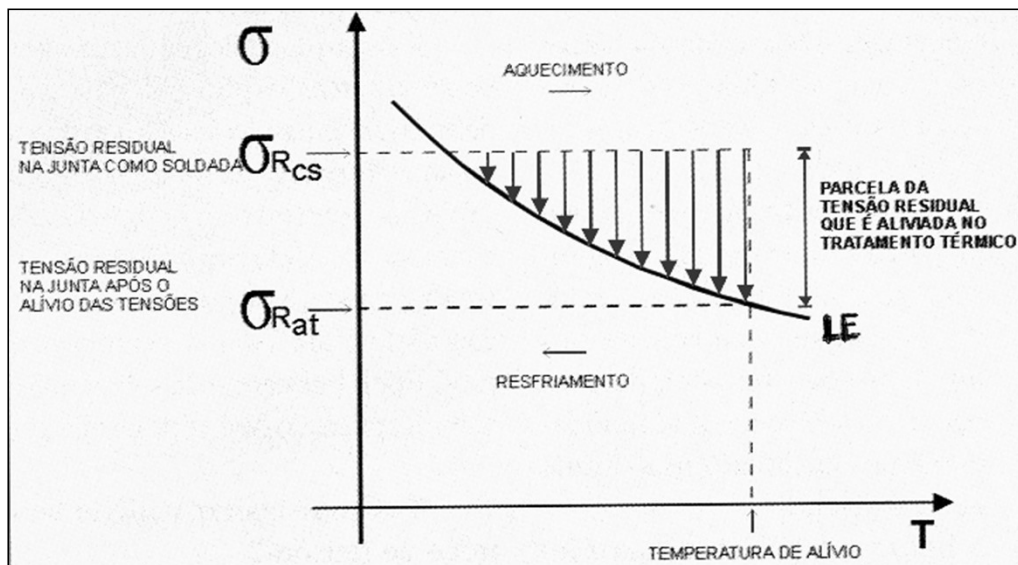
QUANDO SE UTILIZA UM AÇO DE ALTO LIMITE ELÁSTICO ELE NÃO SOMENTE ACUMULA MAIS TENSÃO COMO PODE SE TORNAR PERIGOSO SE NÃO FOR ALIVIADO ANTES DE ENTRAR EM OPERAÇÃO

Condições de alívio recomendado:

- aços temperados e revenidos
- grandes espessuras soldadas
- grande rigidez, esforços cíclicos ou
- possibilidade de corrosão-sob-tensão

Alívio térmico de tensões, serve para reduzir a dureza e relaxar o material por deformação plástica quando a tensão residual supera a tensão limite de escoamento.

NÃO É TÍPICO PARA TUBOS API



Alívio mecânico de tensões, serve para relaxar por deformação plástica quando a tensão aplicada momentaneamente supera a tensão limite de escoamento.

expansão

martelamento

peening

... teste hidrostático ...

OMAE2013-11257

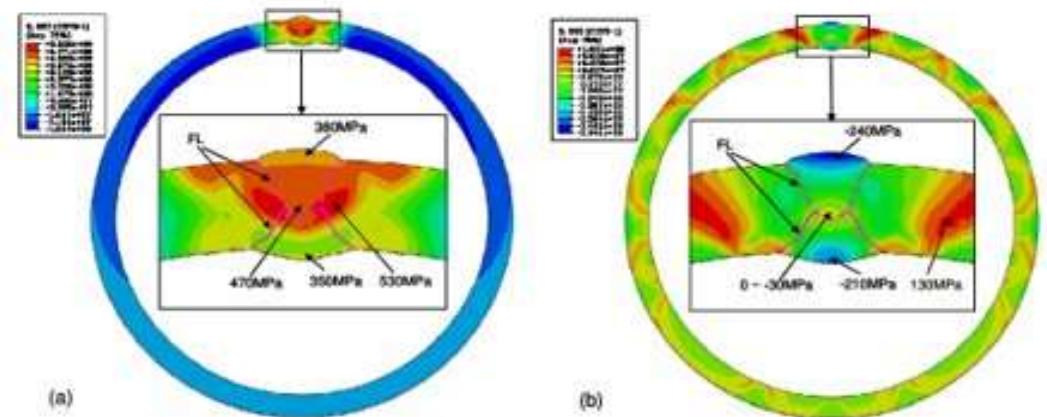
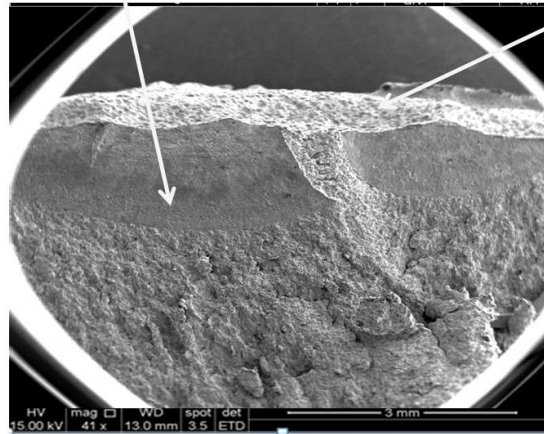


Figure 11: FE prediction of pipe axial residual stress distribution: (a) after ID and OD SAW welding and (b) after mechanical expansion.

FADIGA NA COSTURA DE TUBOS, APENAS PARA UM FORNECEDOR

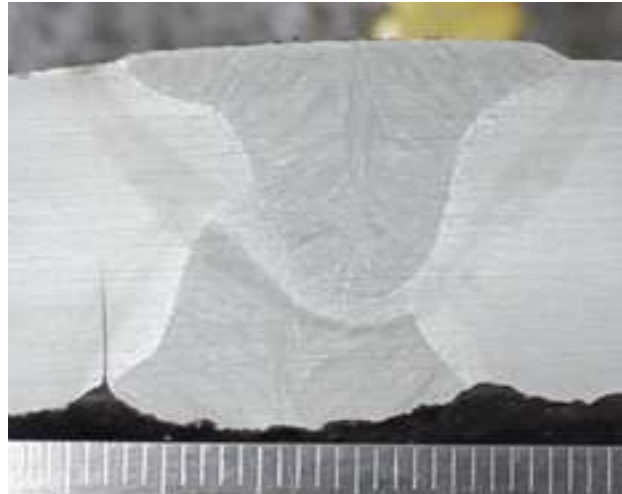
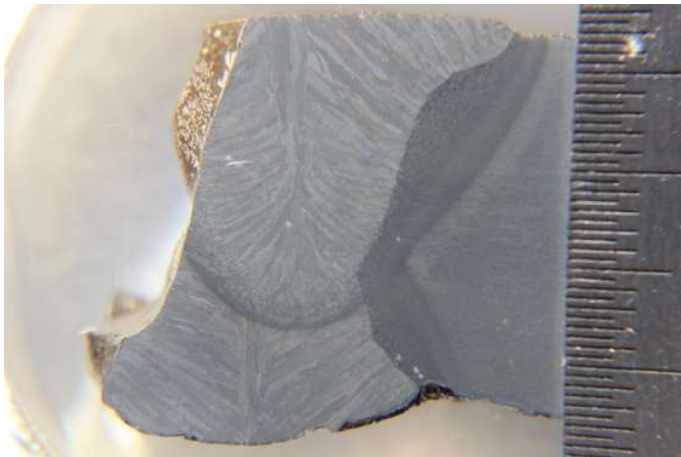
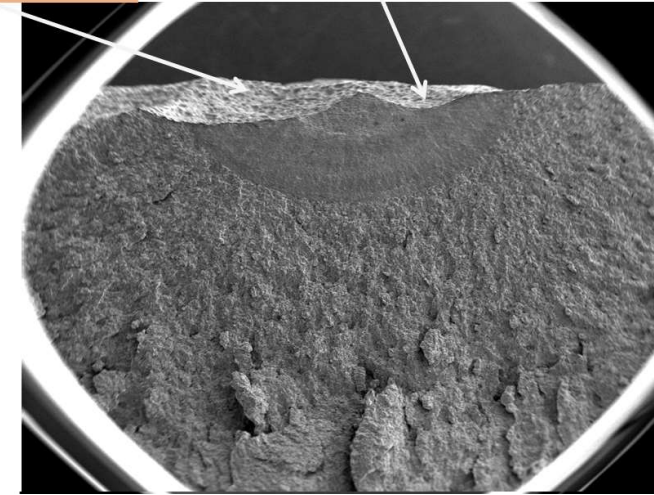


beach marks



Corroded region next to the weld margin

ratchet marks



Tensões residuais não relaxadas podem resultar em maior tensão de membrana, e abreviar a vida em fadiga. Importante mencionar que tensões residuais não são facilmente detectáveis.

Mineroduto
Apresentação WELD 2019
Alexandre Bracarense

SOLDABILIDADE DE AÇOS AO C E BAIXA LIGA

SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO

- susceptibilidade à formação de **defeitos**
trincas a quente (não usuais em API 5L X)

segregação de produtos de baixo ponto de fusão

- trincas a frio** (não usuais em API 5L X)

martensita (dureza alta) + hidrogênio + tensão em baixa temperatura

- trincas de reaquecimento** (não usuais em API 5L)

elementos endurecedores por precipitação

- susceptibilidade à **perda de propriedades**

perda de resistência

endurecimento excessivo

fragilização

*quanto mais "requisitos"
maior a "perda"*

INFLUÊNCIA DO **AÇO** E DOS CICLOS
TÉRMICOS IMPOSTOS PELO
PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

- . APORTE DE CALOR
- . PRÉ-AQUECIMENTO
- . *ALÍVIO DE TENSÕES ...*

AUSÊNCIA DE DEFEITOS

MAIOR INFLUÊNCIA
É DO NÍVEL DE
RESISTÊNCIA
MECÂNICA, DA
COMPOSIÇÃO
QUÍMICA E DO GRAU
DE LIMPEZA DO **AÇO**

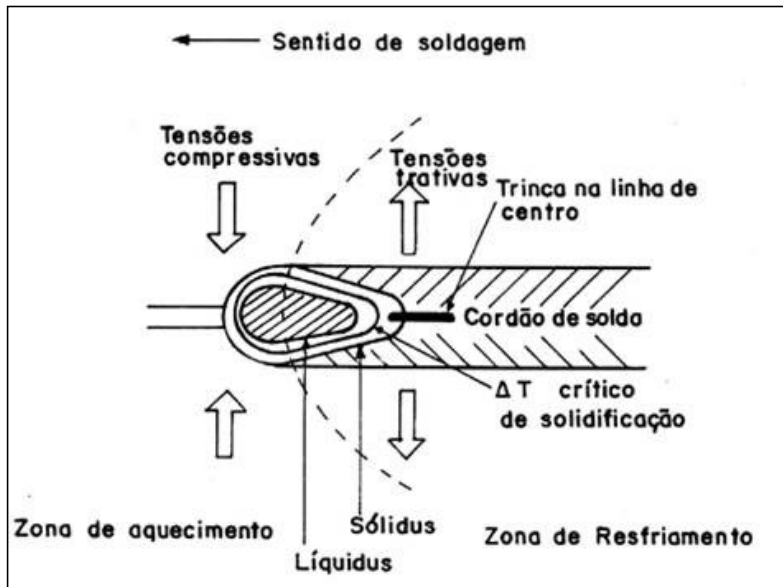
TENSIONAMENTO
RESIDUAL ...

EPS
RQPS

ATENDIMENTO ÀS
PROPRIEDADES

TRINCAS A QUENTE

TUBOS API EM GERAL NÃO SOFREM TRINCAS A QUENTE (PRINCIPALMENTE SE FOREM GRAU X) POIS OS AÇOS TEM UM NÍVEL BAIXO DE IMPUREZAS.

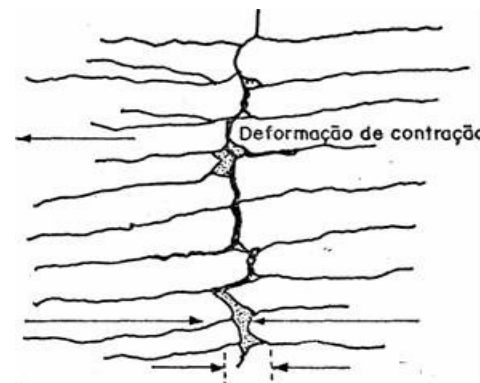
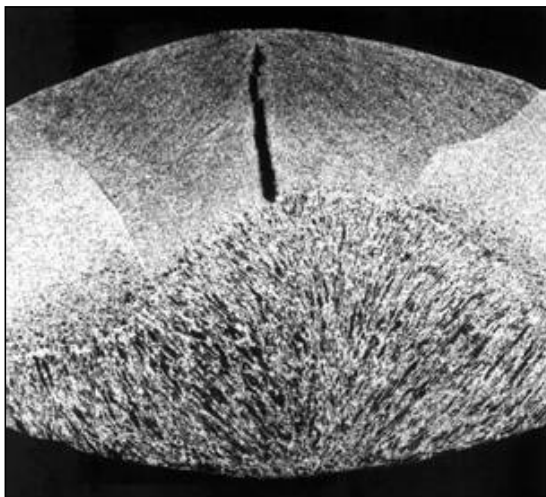


$$UCS = 230 C + 190 S + 75 P + 45 Nb - 12.3 Si - 5.4 Mn - I \quad (\text{Eq 1})$$

where the elemental values are given in percent. If the UCS value is less than 10, then the susceptibility to cracking is low, whereas a value higher than 30 means that this susceptibility is high, and a value between 10 and 30 means that the welding procedures become controlling.

Table 5 — Chemical composition for PSL 2 pipe with $t \leq 25,0$ mm (0.984 in)

Steel grade (Steel name)	Mass fraction, based upon heat and product analyses % maximum									Carbon equivalent ^a % maximum	
	C ^b	Si	Mn ^b	P	S	V	Nb	Ti	Other	CE _{IW}	CE _{Pcm}
Seamless and welded pipes											
L245R or BR	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	^c	^c	0,04	^{e,j}	0,43	0,25
L290R or X42R	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	^{e,j}	0,43	0,25
L245N or BN	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	^c	^c	0,04	^{e,j}	0,43	0,25
L290N or X42N	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	^{e,j}	0,43	0,25
L320N or X46N	0,24	0,40	1,40	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04	^{d,e,j}	0,43	0,25
L360N or X52N	0,24	0,45	1,40	0,025	0,015	0,10	0,05	0,04	^{d,e,j}	0,43	0,25
L390N or X56N	0,24	0,45	1,40	0,025	0,015	0,10 ^f	0,05	0,04	^{d,e,j}	0,43	0,25
L415N or X60N	0,24 ^f	0,45 ^f	1,40 ^f	0,025	0,015	0,10 ^f	0,05 ^f	0,04 ^f	^{g,h,j}	as agreed	
L245Q or BQ	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	^{e,j}	0,43	0,25
L290Q or X42Q	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	^{e,j}	0,43	0,25
L320Q or X46Q	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	^{e,j}	0,43	0,25
L360Q or X52Q	0,18	0,45	1,50	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	^{e,j}	0,43	0,25
L390Q or X56Q	0,18	0,45	1,50	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04	^{d,e,j}	0,43	0,25
L415Q or X60Q	0,18 ^f	0,45 ^f	1,70 ^f	0,025	0,015	^g	^g	^g	^{h,j}	0,43	0,25
L450Q or X65Q	0,18 ^f	0,45 ^f	1,70 ^f	0,025	0,015	^g	^g	^g	^{h,j}	0,43	0,25
L485Q or X70Q	0,18 ^f	0,45 ^f	1,80 ^f	0,025	0,015	^g	^g	^g	^{h,j}	0,43	0,25
L555Q or X80Q	0,18 ^f	0,45 ^f	1,90 ^f	0,025	0,015	^g	^g	^g	^{i,j}	as agreed	
L625Q or X90Q	0,16 ^f	0,45 ^f	1,90	0,020	0,010	^g	^g	^g	^{j,k}	as agreed	
L690Q or X100Q	0,16 ^f	0,45 ^f	1,90	0,020	0,010	^g	^g	^g	^{j,k}	as agreed	



SÃO NECESSÁRIAS 4 CONDIÇÕES CONCOMITANTES PARA QUE A JUNTA SOLDADA SOFRA O TRINCAMENTO A FRIO:

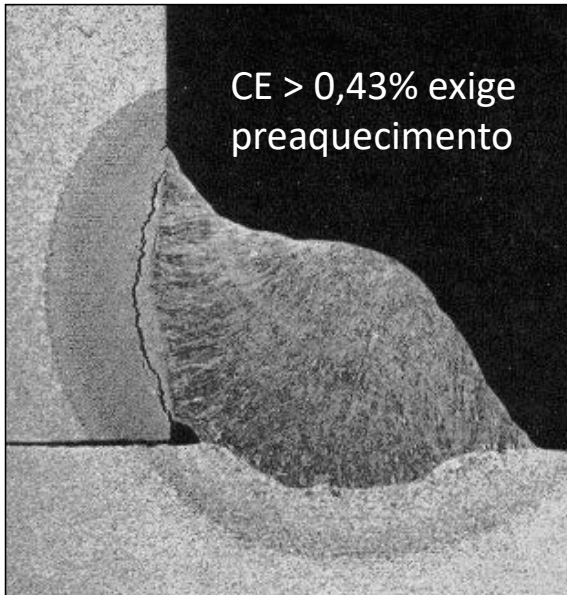
TRINCAS A FRIO

- **FORMAÇÃO DE MARTENSITA** (%C e carbono equivalente), durezas acima de 350 HV
- hidrogênio (presente em qualquer soldagem a arco elétrico)
- tensão trativa (em geral residual)
- baixa temperatura (depois de resfriar)

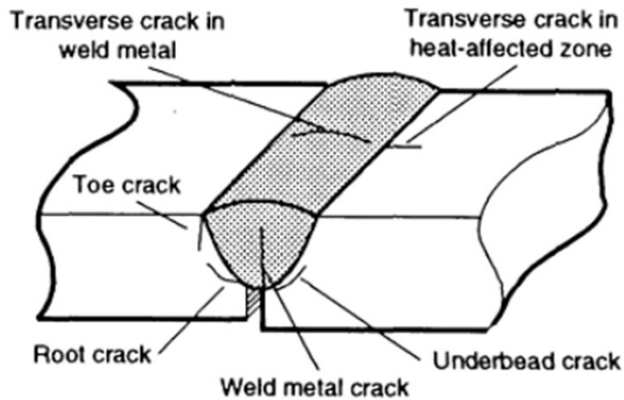
$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{(\%Cr + \%Mo + \%V)}{5} + \frac{(\%Ni + \%Cu)}{15}$$

Table 5 — Chemical composition for PSL 2 pipe with $t \leq 25,0$ mm (0.984 in)

Steel grade (Steel name)	Mass fraction, based upon heat and product analyses % maximum									Carbon equivalent ^a % maximum	
	C ^b	Si	Mn ^b	P	S	V	Nb	Ti	Other	CE _{IW}	CE _{PCm}
Seamless and welded pipes											
L245R or BR	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	c	c	0,04	e	0,43	0,25
L290R or X42R	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L245N or BN	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	c	c	0,04	e	0,43	0,25
L290N or X42N	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L320N or X46N	0,24	0,40	1,40	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04	d,e	0,43	0,25
L360N or X52N	0,24	0,45	1,40	0,025	0,015	0,10	0,05	0,04	d,e	0,43	0,25
L390N or X56N	0,24	0,45	1,40	0,025	0,015	0,10 ^f	0,05	0,04	d,e	0,43	0,25
L415N or X60N	0,24 ^f	0,45 ^f	1,40 ^f	0,025	0,015	0,10 ^f	0,05 ^f	0,04 ^f	g,h	as agreed	
L245Q or BQ	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L290Q or X42Q	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L320Q or X46Q	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L360Q or X52Q	0,18	0,45	1,50	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L390Q or X56Q	0,18	0,45	1,50	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04	d,e	0,43	0,25
L415Q or X60Q	0,18 ^f	0,45 ^f	1,70 ^f	0,025	0,015	g	g	g	h	0,43	0,25
L450Q or X65Q	0,18 ^f	0,45 ^f	1,70 ^f	0,025	0,015	g	g	g	h	0,43	0,25
L485Q or X70Q	0,18 ^f	0,45 ^f	1,80 ^f	0,025	0,015	g	g	g	h	0,43	0,25
L555Q or X80Q	0,18 ^f	0,45 ^f	1,90 ^f	0,025	0,015	g	g	g	ij	as agreed	
L625Q or X90Q	0,16 ^f	0,45 ^f	1,90	0,020	0,010	g	g	g	j,k	as agreed	
L690Q or X100Q	0,16 ^f	0,45 ^f	1,90	0,020	0,010	g	g	g	j,k	as agreed	



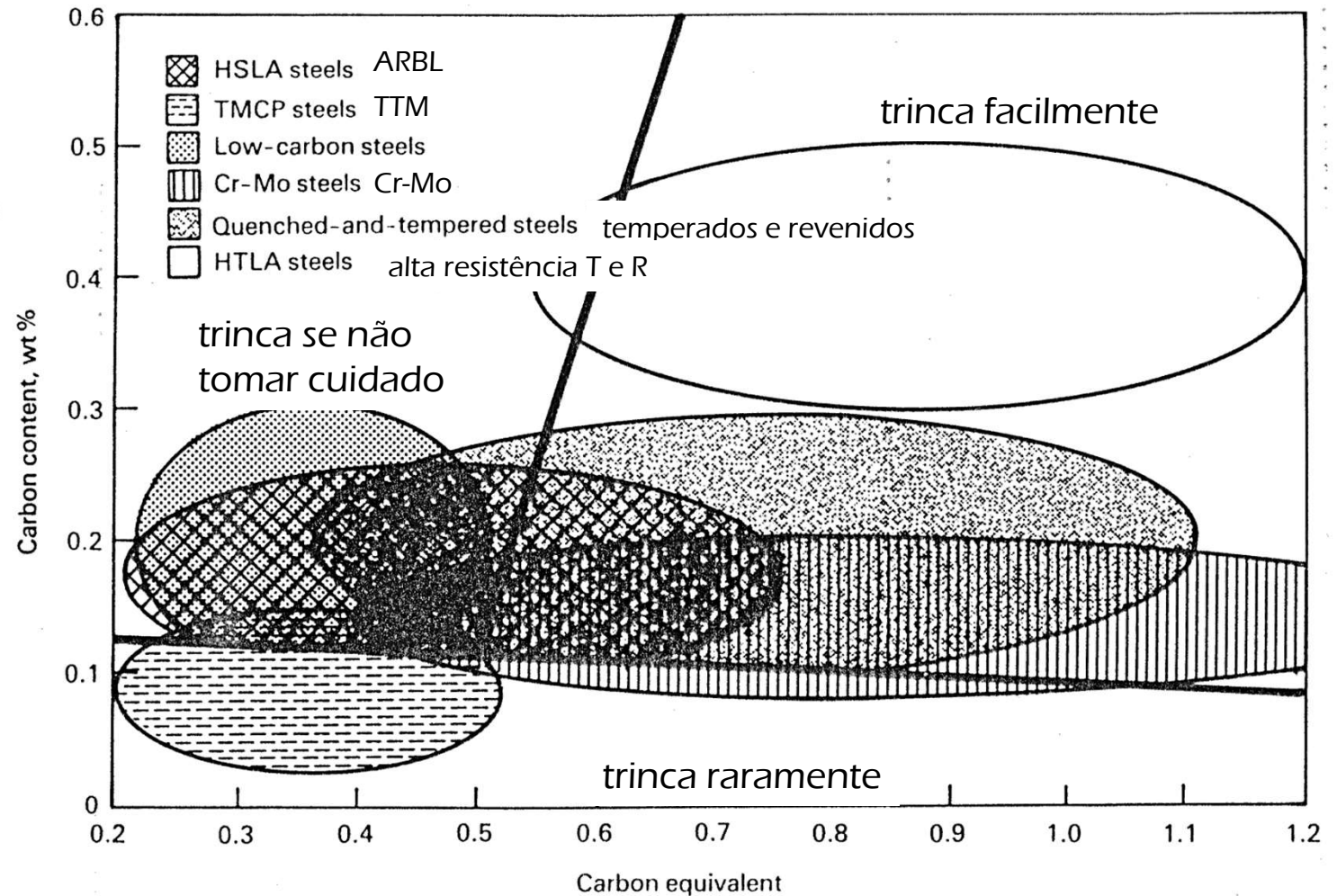
TRINCAMENTO A FRIO



- HIDROGÊNIO
- **MARTENSITA**
- MATERIAL FRIO (TENSÃO E DIFICULDADE DE MIGRAÇÃO)

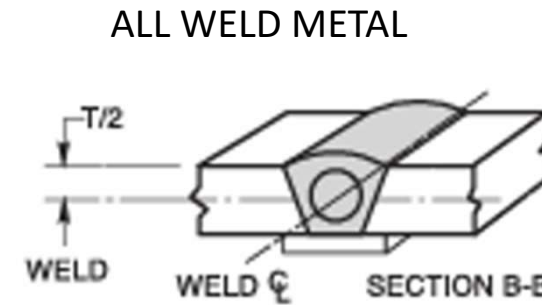
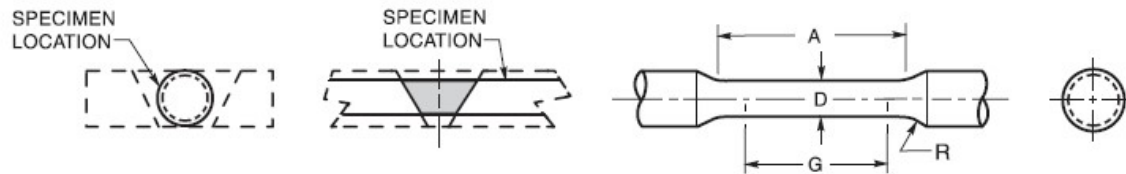
= TRINCA DE HIDROGÊNIO
OU TRINCA A FRIO

$$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

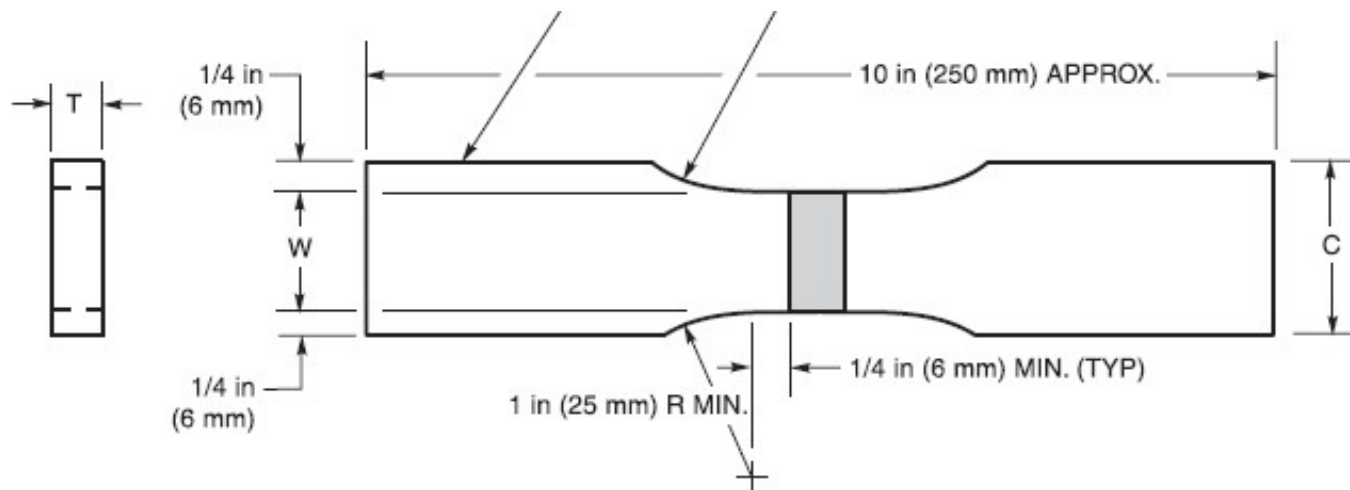


PARA AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA,
DE ESTRUTURA FERRÍTICA REFINADA,
DEVE-SE CONTROLAR MUITO BEM O APORTE
PARA NÃO DEIXAR A ESTRUTURA GROSSEIRA.
O PREAQUECIMENTO É RARAMENTE UTILIZADO (DEPENDENDO DA
DUREZA FINAL), E SOMENTE SE APLICA TRATAMENTO TÉRMICO
SE A ESPESSURA FOR GRANDE (E TODO O CUIDADO É POUCO
POIS O REFINO DE GRÃO É FACILMENTE DESTRUÍDO).
É MUITO IMPORTANTE SELECIONAR UM CONSUMÍVEL
COMPATÍVEL COM A APLICAÇÃO (MATCH, UNDERMATCH OU
OVERMATCH) E COM A NECESSIDADE OU NÃO DE ALÍVIO.
CUIDADOS PARA NÃO PONTEAR OS GRAUS X NA MONTAGEM
POIS PODEM FRAGILIZAR.

ENSAIOS DE TRAÇÃO EM SOLDAS



Conhecer a propriedade do metal de solda ao qualificar a EPS, ou qualificar o consumível.



JUNTA SOLDADA

Qualificar o procedimento de soldagem.

Quando se testa a junta soldada nem sempre o comportamento do material vai ser igual para todas as configurações, e muitas vezes quando se altera a configuração o material apresenta comportamento diferente. Por isso é sempre interessante conhecer a junta soldada antes de decidir como sua propriedade será avaliada.



O ENSAIO DE DOBRAMENTO DE JUNTAS SOLDADAS



Pode ser de face e raiz ou pode ser lateral, dependendo das espessuras. É um ensaio que avalia se existem defeitos e se estes se abrem quando o material é deformado. É apenas qualitativo.



O diâmetro do cutelo é especificado pela norma de qualificação e pode variar com a classe de resistência e ductilidade do material.

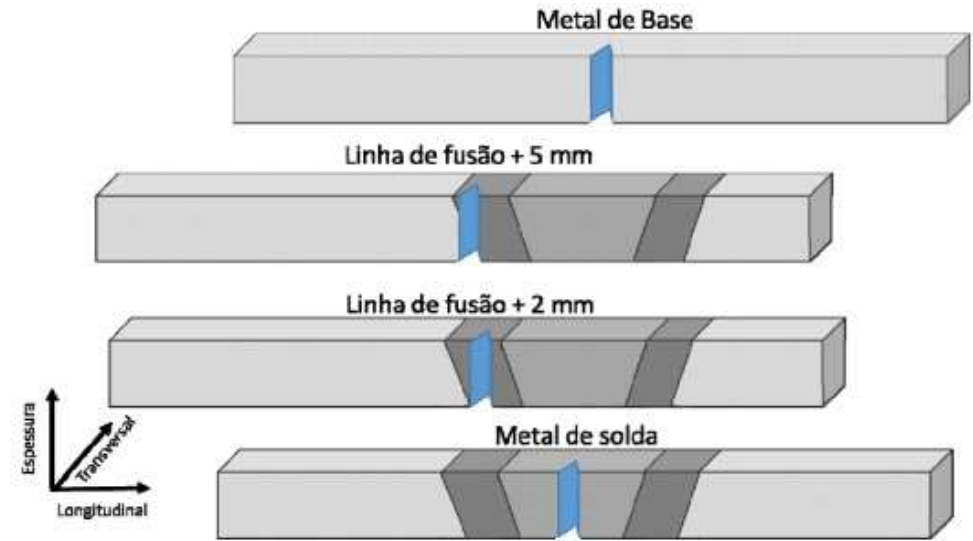
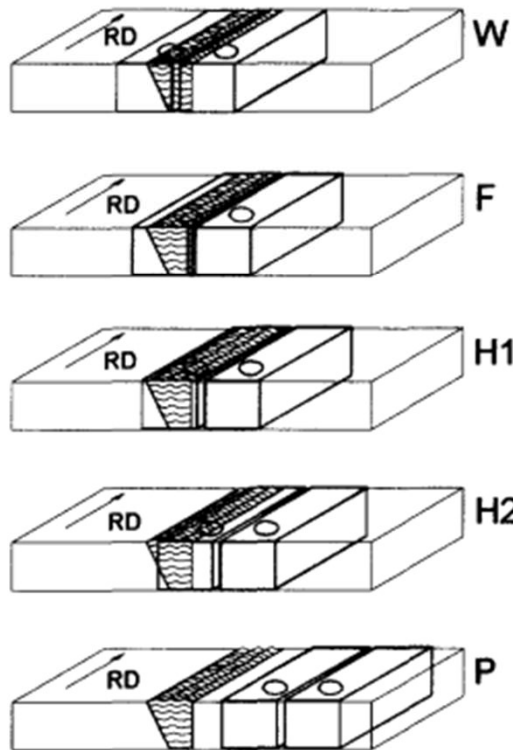
**DUCTILIDADE DO MATERIAL
PRECISA SER CONHECIDA**

IMPORTANTE SABER QUE TIPO DE PROBLEMAS DE SOLDAGEM UMA JUNTA PODE TER, PARA IDENTIFICAR ONDE COLOCAR O ENTALHE.

FRACTURE TOUGHNESS AND MECHANICAL PROPERTIES
OF C-Mn STEELS EXPOSED TO WET H₂S ENVIRONMENTS

W = Weld metal
F = Fusion line
H1 = 1 mm from fusion line
H2 = 3 mm from fusion line
P = Parent metal

ENSAIOS CTOD
EM JUNTAS
SOLDADAS



QW-463.1(f) NOTCH-TOUGHNESS TEST SPECIMEN LOCATION

ENSAIOS
CHARPY V EM
JUNTAS
SOLDADAS

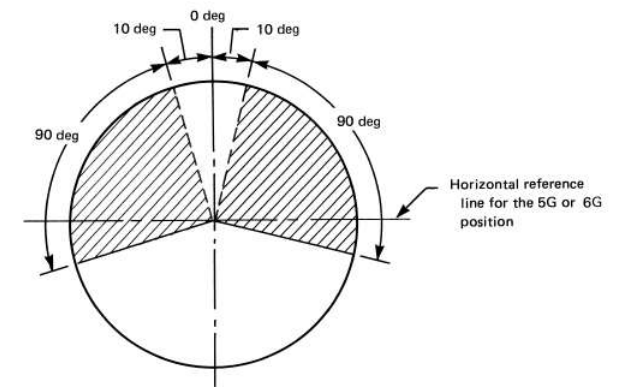


FIGURE 1 - Schematic depicting the CTOD specimen removal locations.

FATORES IMPORTANTES NA SOLDAGEM DE MONTAGEM

UTILIZAR SOMENTE MATERIAIS CUJAS CARACTERÍSTICAS SEJAM ADEQUADAS À MONTAGEM, TESTE E OPERAÇÃO.

ELABORAR UM PROCEDIMENTO ADEQUADO

Avaliar o tipo de MATERIAL, o projeto da junta e o tipo de CONSUMÍVEL (raiz e enchimento), estudar a necessidade de pré-aquecimento, pós-aquecimento e alívio de tensões.

QUALIFICAR O PROCEDIMENTO BUSCANDO REPRODUZIR AS PIORES CONDIÇÕES DE CAMPO

MONTAR EM CAMPO BUSCANDO REDUZIR AO MÁXIMO A RESTRIÇÃO E GARANTINDO AS CARACTERÍSTICAS QUE O PROCESSO DE SOLDAGEM REQUER

(proteção gasosa, aporte de calor).


REALIZAR AS INSPEÇÕES DE FORMA ADEQUADA

SOMENTE TRABALHAR COM **PROFISSIONAIS QUALIFICADOS** (produção, controle de qualidade)



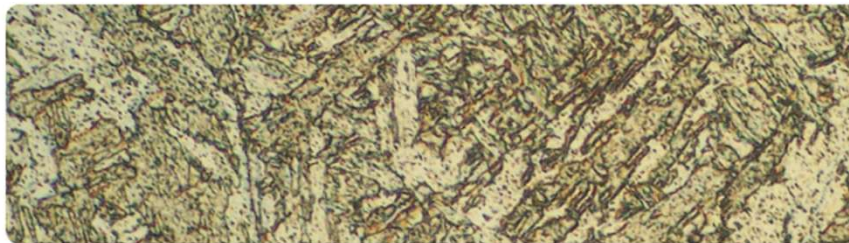
Annelise Zeemann
Consultor em Materiais

 **TECMETAL SOLUÇÕES
TECNOLÓGICAS EM
MATERIAIS**

 **Universidade Federal do Rio
de Janeiro**

Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil · [Contact info](#)

[10,712 followers](#) · [500+ connections](#)



Materials Life


@materialslife5690 · 7,33 mil inscritos · 92 vídeos

Canal brasileiro da Materials.Life, empresa criada em 2016 para disseminar informações

[materialslife](#) e mais 3 links









**MATERIALS
.LIFE**

 [materialslife](#)

Search by keywords

COMBINE YOUR SEARCH

M  MATERIAL	P  PRODUCT	Ap  APPLICATION
C  CONDITION	Cm  CAPTURE METHOD	Df  DETAIL FOCUS

Banco de Imagens
Materiais Metálicos
www.materialslife

OBRIGADA PELA ATENÇÃO

ACESSE OS CANAIS DA “MATERIALS LIFE”, CASO TENHA INTERESSE EM MATERIAIS METÁLICOS DE USO NA ENGENHARIA.

Instagram



Instagram

[instagram.com/materialslife/?hl=pt-br](https://www.instagram.com/materialslife/?hl=pt-br)



materialslife

Seguir

Enviar mensagem

332 publicações

2.394 seguidores

154 seguindo

Materials Life

Materials Engineering is our passion.

www.materialslife

www.youtube.com/channel/UC8JjvZsU1wQGwZ8JvIcNNLQ