



Congresso Internacional de
Corrosão, Integridade,
Pintura e Revestimentos
Anticorrosivos



Seleção de Ligas Resistentes à Corrosão para FPSO

Annelise Zeemann



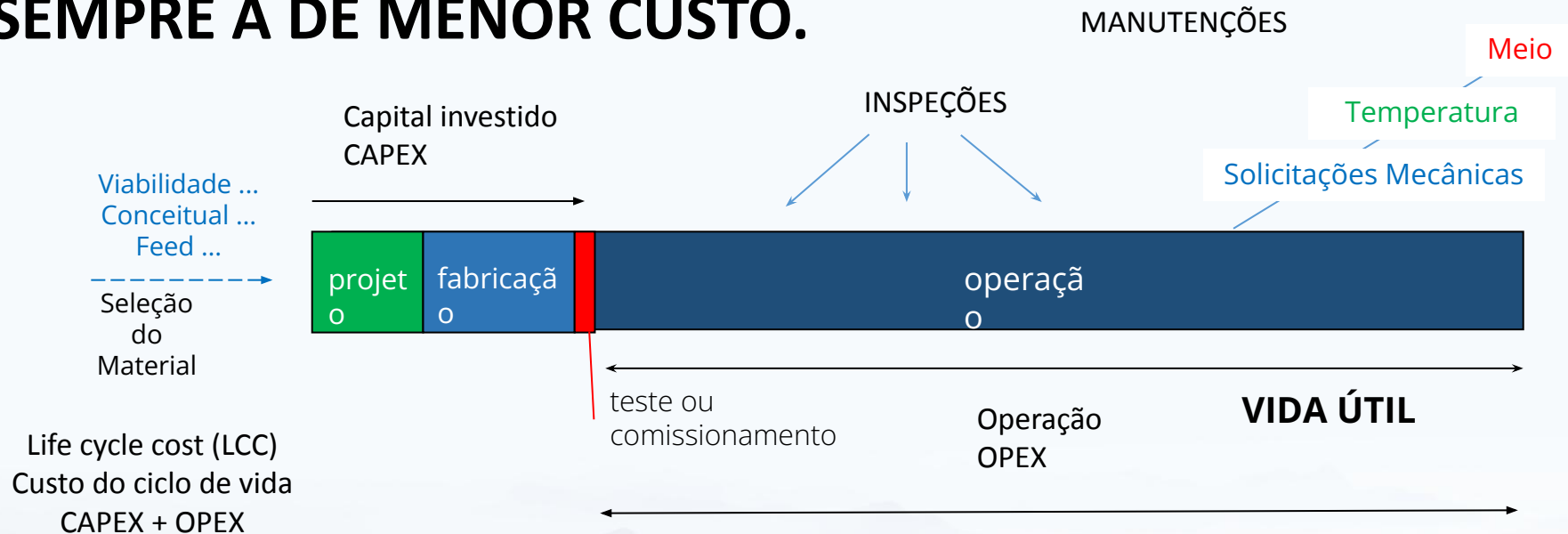
SELEÇÃO DE MATERIAIS

É UMA ATIVIDADE DE ENGENHARIA REALIZADA ANTES MESMO DE INICIAR O PROJETO CONCEITUAL.

No chamado PROJETO CONCEITUAL, quando já foi verificada a viabilidade do “produto”, é então definida a melhor solução para que o “produto” cumpra sua função no **menor custo possível**, refinando as premissas adotadas e dando os parâmetros que permitem um bom detalhamento no PROJETO BÁSICO.



A SOLUÇÃO ENCONTRADA É SEMPRE A DE MENOR CUSTO.



CUSTO

FORMAS DE CONTROLAR A CORROSÃO:

- Sobreesspessura de corrosão (**MATERIAL** cuja reação com o meio não cause sua degradação ao longo da vida útil) \$
AÇOS CARBONO COM SOBREESSPESURA
- **BARREIRA FÍSICA** entre o material e o meio \$\$
COATING, PINTURA
- controle do potencial do material no meio, \$\$\$
PROTEÇÃO CATÓDICA (PC)
CORRENTE IMPRESSA, ANODOS
- controle da composição do meio, \$\$\$
INIBINDO A REAÇÃO do material com o meio
INIBIDORES + CONTROLE/MONITORAMENTO
- uso de **MATERIAL** especial (cuja reação com o meio \$\$\$\$\$\$
não cause sua degradação ao longo da vida útil - **passivação**) **CAPEX**
LIGA RESISTENTE À CORROSÃO (CRA)

Existem muitas maneiras de **controlar a corrosão** em um sistema/processo, mas o maior custo CAPEX é o de seleção de um CRA (entre 5 e 30 vezes mais que um aço ao carbono) o que significa que este material somente é adotado quando outras soluções não são possíveis ou sairiam mais caras (OPEX) ao longo da vida do sistema por paradas, manutenções, inspeções e trocas.

NAVIO

UNIDADE DE TRATAMENTO DE ÓLEO CRÚ - TOPSIDE

TANQUES

LINHA DE DESCARGA

FPSO
FLOATING
PRODUCTION
STORAGE
OFFLOADING

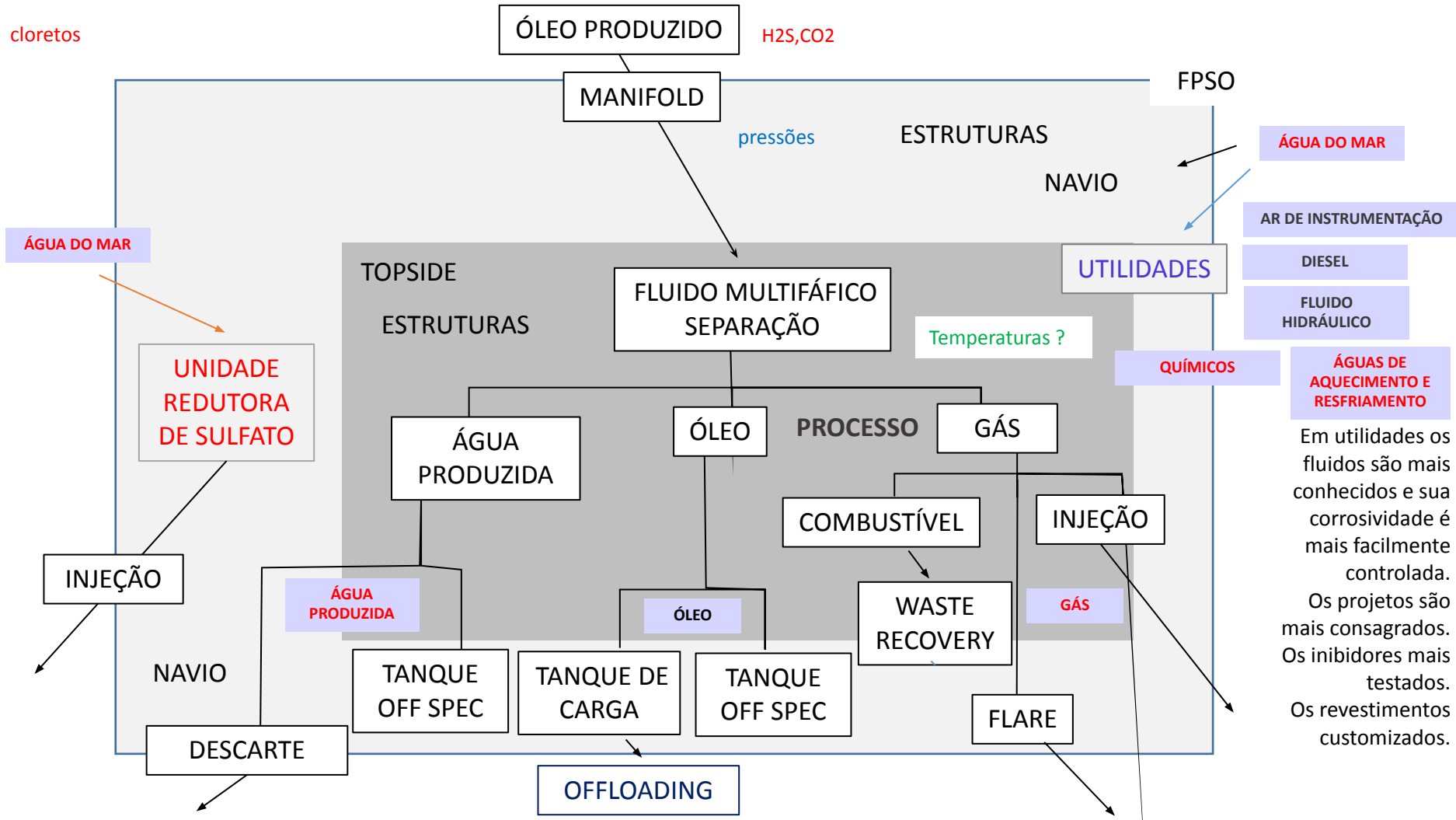
TEMPERATURA

AMBIENTE

ESFORÇOS

QUE CONDIÇÕES
IMPOSTAS AOS
MATERIAIS SÃO
RELEVANTES?

cloretos



Em utilidades os fluidos são mais conhecidos e sua corrosividade é mais facilmente controlada. Os projetos são mais consagrados. Os inibidores mais testados. Os revestimentos customizados.

CONDIÇÕES DE CORROSIVIDADE EM FPSO

INTERNO

ÁGUA DO MAR

Alta condutividade e taxa de corrosão acelerada em aços ao C.

- Proteção catódica + pintura onde existe possibilidade ou baixa liga com cromo (“Marilloy”)
- Revestimentos orgânicos onde é efetivo
- Inox onde não podem existir contaminações (potencial de pite elevado)

INOX SUPERDUPLEX – PRE > 40
ligas com alto molibdênio

UTILIDADES

FLUIDOS DE PROCESSO

ÓLEO

Meio pouco agressivo dependendo do BSW.

ÁGUA PRODUZIDA

Meio muito agressivo. Se for utilizado inox somente serve ligas com alto PRE.

GÁS

A agressividade depende dos contaminantes e da presença de umidade. Utiliza-se desde o 316L até ligas de níquel (cladeados), dependendo das temperaturas envolvidas no processo.

EXTERNO

AMBIENTE MARINHO

Revestimentos orgânicos

AGRESSIVIDADE DEPENDE DAS QUANTIDADES DE ÁGUA, CONCENTRAÇÕES DE CO₂ E H₂S, TEOR DE CLORETOS, PRESSÕES E TEMPERATURAS

FPSO

LIGAS RESISTENTES À CORROSÃO NA INDÚSTRIA DE ÓLEO E GÁS

Aços inoxidáveis MARTENSÍTICOS, AUSTENITICOS, DUPLEX E SUPERDUPLEX.

COMPOSIÇÃO
QUÍMICA

Outros ligas (CRA) de níquel

$$PRE = \% Cr + 3,3(\%Mo) +$$

$$16(\%N)$$

Existe, apenas entre os aços inoxidáveis, um parâmetro chamado Pitting Resistance Equivalent Number (PREN), dado pela composição química do aço principalmente dos elementos Cr, Mo e N, que permite ranquear os aços em termos de sua resistência à corrosão por pites.

MARTENSÍTICOS

AUSTENÍTICO

DUPLEX

SUPERDUPLEX

LIGAS DE
NÍQUEL

ALLOY 28, 825, 625 E C-276.

LIGA DE NÍQUEL

diferentes teores
de cromo

LIGA DE
FERRO

Nickel Institute Technical Series Nº 10 073

Corrosion Resistant Alloys (CRAs)
in the oil and gas industry

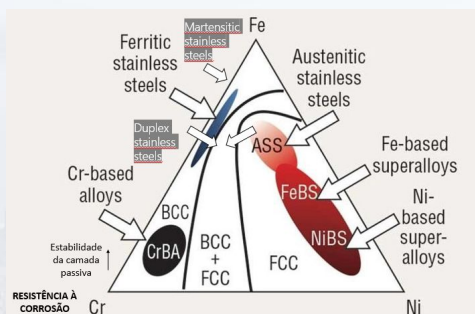
– selection guidelines update

Bruce D. Craig and Liane Smith

Nominal chemical composition of alloys (Wt. %)

Alloy (UNS No.)	Cr	Ni	Mo	Fe	Mn	C	N	Other
13 Cr (S42000) to API Standard	13	-	-	Bal.	0.8	0.2	-	-
S13Cr (typical ranges)	11-13	1-6	1-2	Bal.	0.2-0.5	0.025	-	0-2.0 Cu, Ti trace
316L (S31603)	17	12	2.5	Bal.	1	0.02	-	-
22 Cr duplex(*)	22	5	3	Bal.	1	0.02	0.15	-
25 Cr duplex (*)	25	7	4	Bal.	1	0.02	0.28	-
28 (N08028)	27	31	3.5	Bal.	1	0.01	-	1.0 Cu
825 (N08825)	22	42	3	Bal.	0.5	0.03	-	0.9 Ti, 2 Cu
2550 (N06975)	25	50	6	Bal.	0.5	0.03	-	1.2 Ti
625 (N06625)	22	Bal.	9	2	0.2	0.05	-	3.5 Nb
C-276 (N10276)	15.5	Bal.	16	6	0.5	0.01	-	3.5 W

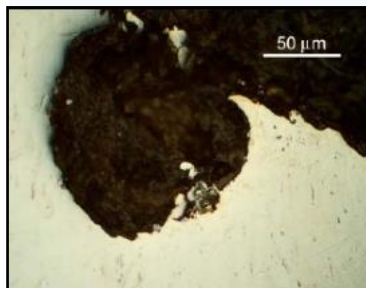
* There are a variety of 22 Cr and 25 Cr duplex stainless steels with different UNS numbers. disponível na internet.



ÁGUA DO MAR

parafuso e porca
corroidos

corroded bolt and nut



Parafusos de inox austenítico AISI 316 que trabalharam pouco tempo em flanges parcialmente imersos no mar, sem proteção catódica.



Table 4-4: Typical PRE, CPT, and CCT Numbers for Stainless Steels

Materials	Typical PRE	CPT (°C)	CCT (°C)
304L	19	2.5-4	-
316L	24-26	5-15	<5
904L	36	40-45	15-25
254 SMO (6% Mo)	46	65-80	30-60
Duplex (22% Cr)	35	20-42	17.5-25
Super Duplex (25% Cr)	42	55-88	35-43

parafuso com marcação MV
316 na cabeça / bolt with MV
316 marked at the head



Materials selection for seawater systems as given in Table 4 of this standard shall apply. Temperature limitations for the different materials shall be as given in Table 10.

NORSOK standard M-001

Table 4 – Materials for seawater systems

Systems/equipment	Materials	Notes
Vessels	Titanium, FRP/GRP, type 25Cr duplex SS	
Piping valves and inline instruments	Type 25Cr duplex SS, FRP/GRP, type 6Mo SS, titanium, carbon steel with polymeric lining.	1
Valves in GRP systems	FRP/GRP, Carbon steel with polymeric lining, NiAl bronze, titanium, type 25Cr duplex SS.	
Normally drained systems	Type 25Cr duplex SS, titanium.	
Pumps	Type 25Cr duplex SS	
Notes		
1. For inline instruments alloy 625, alloy C276 and alloy C22 may be used in addition to materials listed		

A MELHOR SELEÇÃO É SEMPRE A QUE DÁ

C2012-0001632

SEPARAÇÃO DO ÓLEO

Material Selection and Corrosion Control for Topside Process and Utility Piping and Equipment

Oil Separation and Stabilization System

Equipment	Main Threats	Mitigation Methods
Piping	CO ₂ and CO ₂ + H ₂ S corrosion (* Chloride, temperature, pH and H ₂ S partial pressure for CRAs)	<ul style="list-style-type: none"> • Base Case: CS + CA • Option 1: CRA. Typical CRA material used for piping containing liquids with high chloride content is duplex. However, The CRA* material should be selected based on the Corrosion Assessment. • Option 2: CS + cladding. Typical piping cladding CRA material is 316L, 904L, 625 or 825. However, The CRA* material should be selected based on the Corrosion Assessment. • Option 3: CS + CA + CI. The use of corrosion inhibition program may be considered. The corrosion inhibition program represents higher risk and may be reflected in higher life cycle cost.

• AÇO CARBONO + SOBREESSPURA

• CRA

• AÇO CARBONO CLADEADO

• AÇO CARBONO + SOBREESSPURA + INIBIDOR

COMPRESSÃO DO GÁS

Gas Compression and Dehydration System

Equipment	Main Threats	Mitigation Methods
Piping	CO ₂ and CO ₂ + H ₂ S corrosion (* Chloride, temperature, pH and H ₂ S partial pressure for CRAs)	<ul style="list-style-type: none"> • Base Case: CS + CA • Option 1: CRA. Typical CRA material used for gas streams are 316/316L dual grade¹ and duplex. However, The CRA* material should be selected based on the Corrosion Assessment. • Option 2: CS + cladding. Typical piping cladding CRA material is 316L or 825. However, The CRA* material should be selected based on the Corrosion Assessment.
Piping Downstream of Gas Treatment Unit	--	Material: CS + 1.5 mm

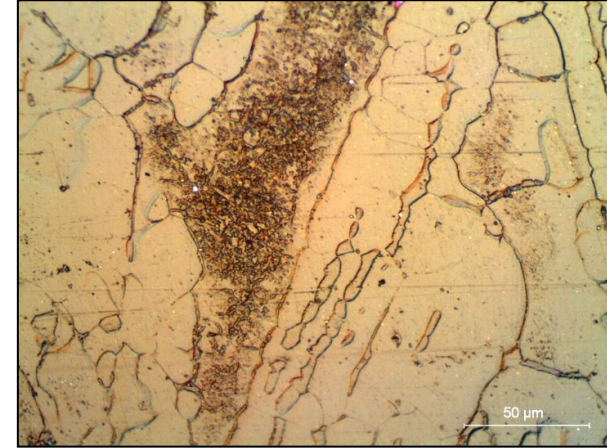
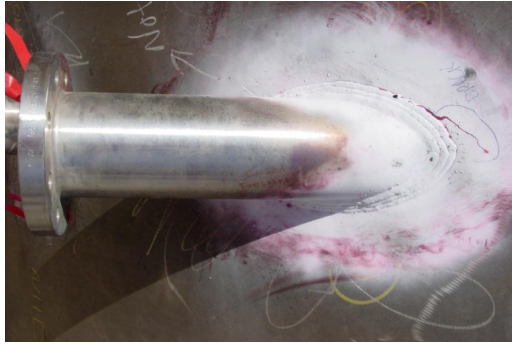
• AÇO CARBONO + SOBREESSPURA

• CRA

• AÇO CARBONO CLADEADO

• AÇO CARBONO + SOBREESSPURA (BAIXA)

Durante a FABRICAÇÃO deste vaso de inox duplex foi constatado um bocal com inclinação ligeiramente fora do projeto e o fabricante tentou “levar” o bocal para a posição aplicando uma chama e um macaco hidráulico. Mas ele não contava que este aço sofresse precipitações fragilizantes, e o desempenho “a quente” levou ao trincamento do costado.



PRÁTICA DE DESEMPENO
POR MAÇARICO,
PROIBIDA PARA AÇOS
INOXIDÁVEIS.
TRINCAS NA CHAPA DO
COSTADO DE DUPLEX
DEVIDO À FORMAÇÃO DE
SIGMA.

Table 3 - Materials for process and utility use

	Materials
Oil and gas production and processing	Corrosivity evaluations shall be based on 4.3.2 and 5.5.2.
Wellhead equipment/X-mas trees	13Cr4Ni, Low alloy steel with Alloy 625 weld overlay.
Piping and vessels	22Cr duplex, 25Cr duplex, 6Mo, 316, Superaustenite. Carbon steel with internal organic lining.
Thick wall vessels	Carbon steel with 316/309 overlay, Alloy 625, Alloy 825 or 904 clad or weld overlay. Carbon steel with internal organic lining.
Piping and vessels in low corrosivity systems	Carbon steel.
Inlet side of compressors	Carbon steel. Carbon steel with CRA weld overlay or solid CRA if required, based upon corrosivity evaluations.
Piping, vessels for produced water	316, 22Cr duplex, 25Cr duplex, 6Mo, Titanium or GRP.
Seawater systems and raw seawater injection	See also 5.5.3.
Wellhead equipment/X-mas trees	Carbon steel with weld overlay according to 4.4
Vessels	Titanium, GRP, carbon steel with internal rubber lining or organic coating in combination with cathodic protection.
Piping materials	6Mo, 25 Cr duplex, Titanium, Cu-Ni 90-10, GRP.
Piping components	6Mo, 25Cr duplex, Titanium, Alloy 625, Alloy C276, Alloy C22, Cu-Ni 90-10, NiAl bronze.
Valves in GRP systems	GRP, Carbon steel with polymeric lining, NiAl bronze.
Normally drained systems	Copper base alloys, 6Mo, Titanium. Carbon steel for short lifetimes, e.g. 5 years to 10 years.
Pumps	25Cr duplex, 6Mo, Titanium,
Deaerated seawater injection	See also 5.5.4.
Wellhead equipment/X-mas trees	Low alloy steel with Alloy 625 weld overlay in sealing surfaces.
Piping	Carbon steel, GRP.
Deaeration tower	Carbon steel with internal organic coating, plus cathodic protection in bottom section.
Pump and valve internals	Provided carbon steel housing: 13Cr4Ni, 316, 22Cr duplex, 25Cr duplex.

NORSOK standard M-001

Materials selection

General principles for materials selection and corrosion protection

Philosophy

Materials selection requirements

Corrosivity evaluation and corrosion protection

Weld overlay

Chemical treatment

Corrosion monitoring

Materials selection for specific applications/systems

Introduction

Drilling equipment

Well completion

Structural materials

Process facilities

Bolting materials for pressure equipment and structural use

Sub-sea production and flowline systems

Pipeline systems

Chains and mooring lines for floating units

Design limitations for candidate materials

General

Materials for structural purposes

Materials for pressure retaining purposes

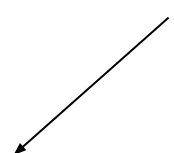
Polymeric materials

Qualification of materials and manufacturers

Material qualification

Manufacturer qualification

Familiarisation programmes for fabrication contractors



SELEÇÃO DE MATERIAIS (MATERIAL X PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO)

- **É UMA ATIVIDADE DE ENGENHARIA REALIZADA ANTES MESMO DE INICIAR O PROJETO CONCEITUAL. NO PROJETO DE DETALHAMENTO A SELEÇÃO SE TORNA UMA ESPECIFICAÇÃO.**
- **A SOLUÇÃO ENCONTRADA É SEMPRE A DE MENOR CUSTO DO CICLO DE VIDA.**
- **A MELHOR SELEÇÃO É SEMPRE A QUE DÁ CERTO, MAS TODO CUIDADO É POUCO NA FABRICAÇÃO E USO DE LIGAS RESISTENTES À CORROSÃO.**

OBRIGADA PELA ATENÇÃO

azeemann@tecmetal.com.br

www.materials.life

www.tecmetal.com.br

Canal Materials Life no Youtube

Materials Life no Instagram

Linkedin Annelise Zeemann

