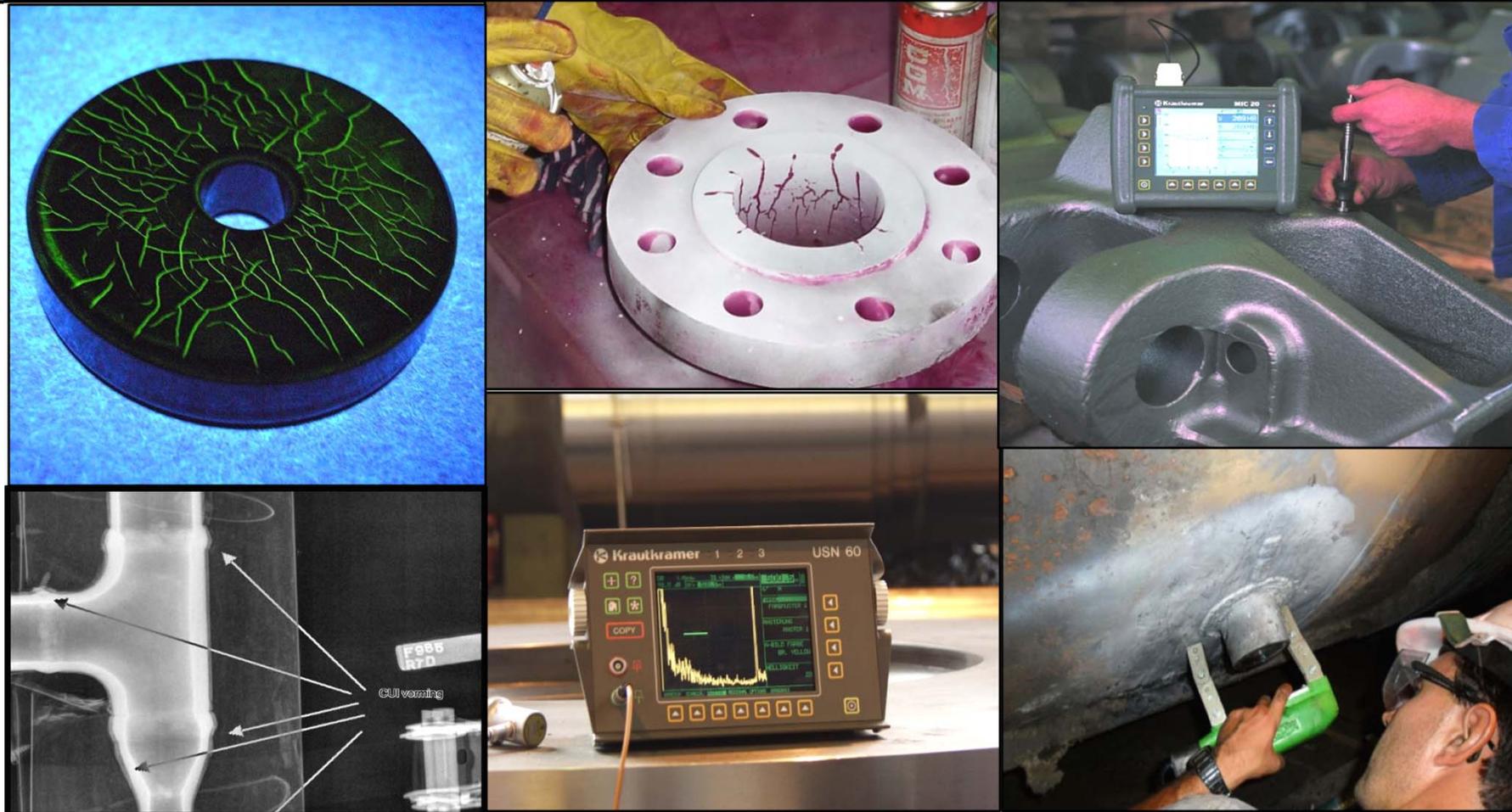


# LOM 3084 –INSPEÇÃO E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS



**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

## REFERÊNCIAS:

- **APOSTILAS-ABENDE-RICARDO ANDREUCCI;**
- **APOSTILAS DO CURSO DE UT-CETRE;**
- **MATERIAL DA GE INSPECTION TECHNOLOGIES.**

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

## INSPEÇÃO:

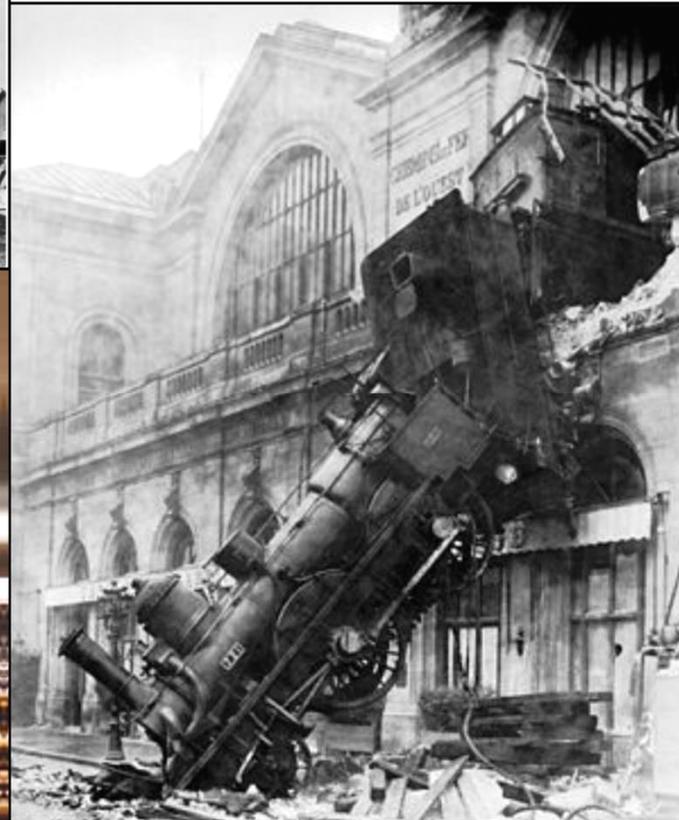
- **RECEBIMENTO;**
- **FABRICAÇÃO;**
- **EXPEDIÇÃO.**

**Inspeção de Fabricação:** verificar, nas instalações do fornecedor e/ou subfornecedores envolvidos, a conformidade dos equipamentos ou materiais fabricados com os documentos contratuais. (Definição: ABC DA INSPEÇÃO DE FABRICAÇÃO Rev. 9 - Petrobras);

E também...

**MUITO IMPORTANTE PARA EVITAR FALHAS!!!**

**LOM 3084 –INSPEÇÃO E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS**



**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

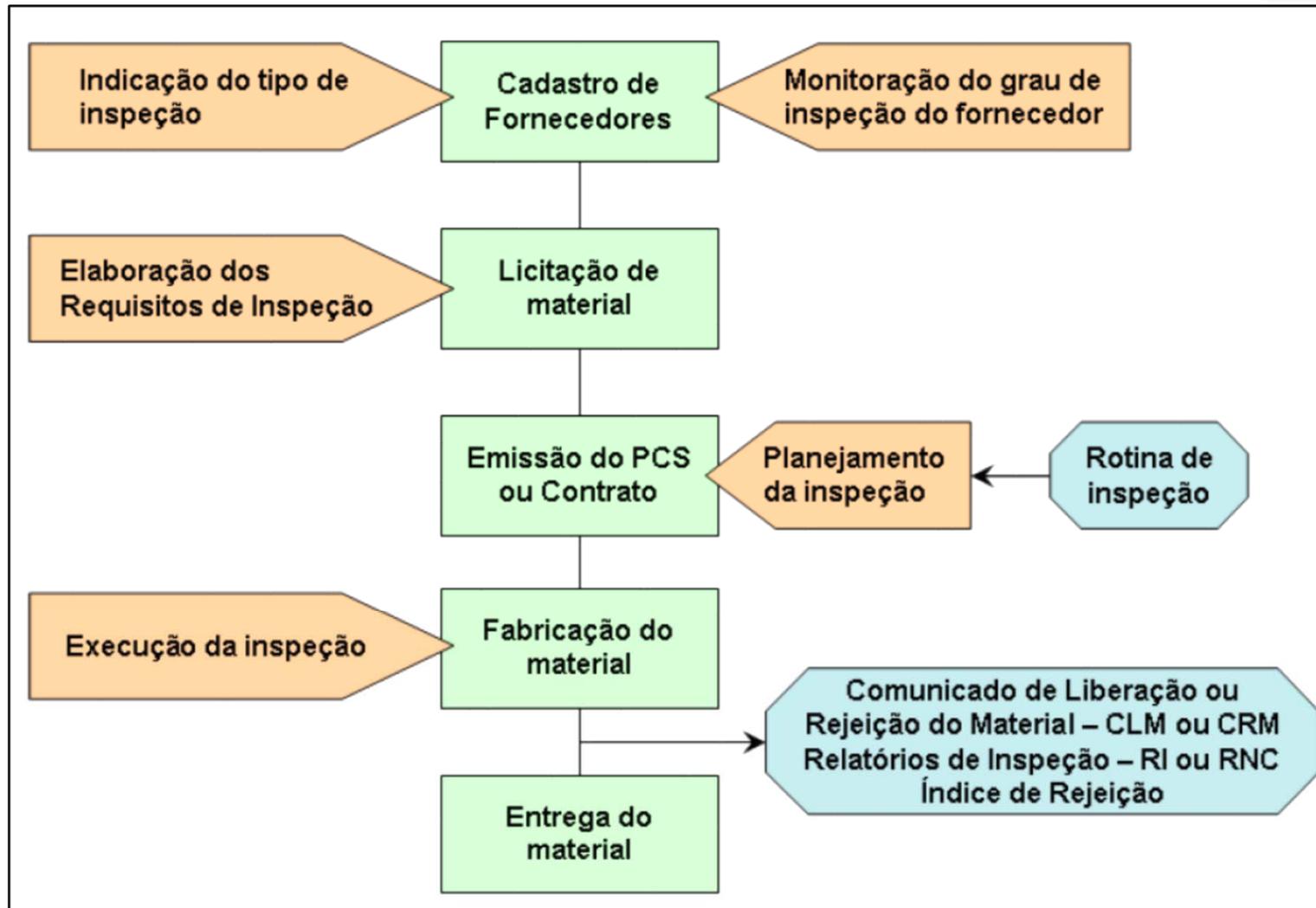
**Indústrias Petroquímicas e Nucleares:** sistema de **PIT** (Plano de Inspeção e Testes) nos fornecedores-são os mais complexos e detalhados.

**Indústrias Automotivas:** Sistema de Qualidade Assegurada - Figura do SQE: Supplier Quality Engineer- Auditorias de Processos e de Sistemas, processo de qualificação e demérito de fornecedores;

**Indústria Aeroespacial** – Foca em um **pesado processo de qualificação de fornecedores;**

**NÃO SEI QUAL É O PIOR!**

## Intervenções da inspeção de fabricação



**Plano de Inspeção e Testes – PIT:** documento elaborado pelo fornecedor (normas ISO de gestão da qualidade). Devem constar, no mínimo:

- a) Garantia da compatibilidade do projeto, procedimentos e documentação interna aplicável com produto;
- b) Dispositivos/equipamentos, incluindo as tolerâncias para a obtenção da qualidade, na verificação de dimensões críticas, testes funcionais, etc.;
- c) Qualificação dos inspetores;
- d) Estágios nos quais serão realizadas verificações ou inspeções, incluindo nos subfornecedores. Quais ensaios serão realizados;
- e) Critérios de aceitação;
- f) Identificação e preparação de registros da qualidade: relatório, certificado, gráfico, data-book, etc.

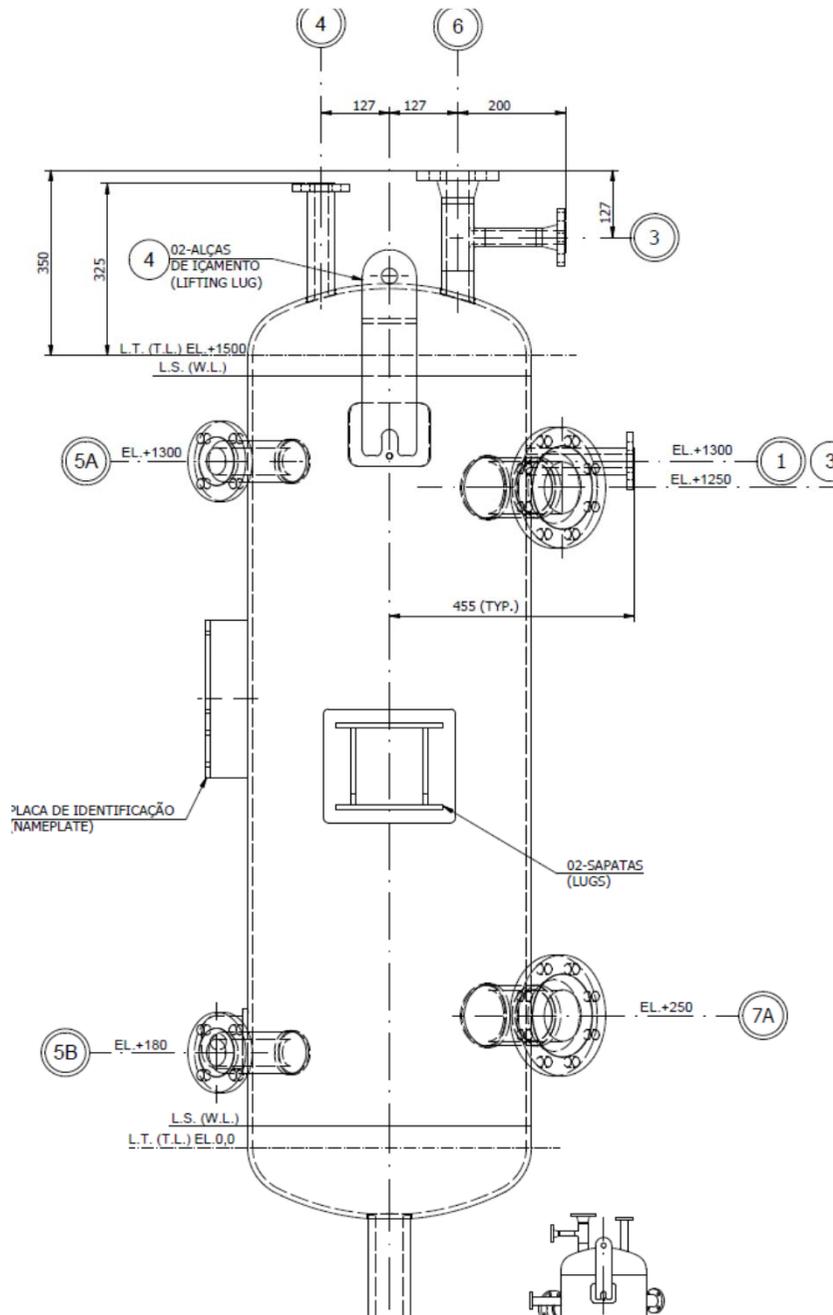
**Plano de Inspeção e Testes – PIT: Deve conter:**

- Pontos de espera (**hold point - HP**);
- Pontos de observação (**witness point - WP**);
- Pontos de monitoramento (**monitoring point – MP**).

**Ponto de Espera (Hold Point) – HP:** o processo de fabricação é interrompido e não pode continuar, até a aprovação, após a inspeção/ensaio;

**Ponto de Observação (Witness Point) – WP:** Acompanhamento do cliente (inspetores) dos eventos do Plano de Inspeção e Testes, sem interrupção do processo de fabricação;

**Ponto de Monitoramento (Monitoring Point) – MP:** é o evento de inspeção no ciclo fabril do fornecedor onde não há necessidade de informar ao inspetor do cliente.



### 3 - ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS - END

3.1 - RADIOGRAFIA (RADIOGRAPHY):

3.2 - EFICIÊNCIA DAS SOLDAS (JOINT EFFICIENCY):

3.3 - ULTRASSOM (ULTRASOUND):

3.4 - PARTICULA MAGNETICA (MAGNETIC PARTICLE):

3.5 - LIQUIDO PENETRANTE (DYE PENETRANT):

3.6 - EXAME VISUAL (VISUAL EXAMINATION):

Figueiredo Terra Ruchert

Plano de Inspeção e Testes – PIT

PLANO DE INSPEÇÃO E TESTE INSPECTION AND TEST PLAN											
LEGENDA: LEGEND											
1 - LOCAL DA INSPEÇÃO: INSPECTION PLACE:		2 - INSPEÇÕES POR: INSPECTION BY:				3-REGISTRO: RECORD					
F = FABRICA (BARDELLA)		HP = HOLD POINT - PARADA OBRIGATORIA (NOTIFICAÇÃO É APLICAVEL)		RD = REVIEW DOCUMENTS		BAR = BARDELLA		A = REGISTRO DA QUALIDADE É APLICAVEL (CARIMBO, RI OU LM)			
S = SUBFORNECEDOR		WP = WITNESS POINT - PONTO DE OBS. SEM INTERRUPÇÃO DO PROCESSO - (NOTIFICAÇÃO É APLICAVEL)		VERIFICAÇÃO DE DOCUMENTOS		EJA = ██████████		QUALITY RECORD IS APPLICABLE "STAMP, INF. REPORT or LIST OF MATERIALS"			
SUBSUPPLIER		X = INSPEÇÃO PELA BAR		INSPECTION BY BAR		TP = ██████████		C = CERTIFICADO CERTIFICATE			
		MP = MONITORING POINT - PONTO DE MONITORAMENTO (SEM CONVOCAÇÃO PELA BAR)		- = NÃO APLICAVEL		BV = BUREAU VERITAS (CLASSIFICATION SOCIETY)		R = RELATORIO REPORT			
				NOT APPLICABLE							
ITEM	INSPEÇÕES E ENSAIOS INSPECTIONS AND TESTS	AMOST. SAMPLE (%)	1	2				3	PROCEDIMENTOS/ DOCUMENTOS DE INSPEÇÃO INSPECTION DOCs AND PROCEDURES	CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO STANDARD	OBS. REMARK
				BAR	EJA	TP	BV				
7.5	Controle visual e dimensional da traçagem para abertura de bocais no casco/tampo: <i>Visual control and dimensional of layout of shell/head</i>	100	F	X	-	-	-	-	Desenho <i>Drawing</i> ASME VIII DIV 1	Desenho <i>Drawing</i> ASME VIII DIV1 UG-36	
7.6	Controle visual e dimensional da montagem e preparação das juntas entre bocais x casco/tampo: <i>Visual control and dimensional of assembly and fit up of between nozzles x shell/head</i>	100	F	X	-	-	WP	R (*)	Desenho <i>Drawing</i> GI-13-060(12)	Desenho <i>Drawing</i> ASME VIII DIV1 UW-32/33	(*)"R" aplicável somente a visual e dimensional da preparação das juntas
7.7	Controle visual e dimensional das soldas acabadas entre bocais x casco/tampo: <i>Visual control and dimensional of finished welds between nozzles x shell/head</i>	100	F	X	-	-	RD	R	Desenho / <i>Drawing</i> GI-13-060(12) ASME V ART. 9 Nota 15	ASME VIII DIV1 UW-35	
7.8	Exame por Líquido Penetrante ou Partícula Magnética nas soldas (lado interno e externo) acabadas entre bocais x casco/tampo: <i>Liquid Penetrant Testing or Magnetic Particle Testing on finished welds (side internal and external) between nozzles x shell/head</i>	100	F	X	-	-	RD	R	GI-13-061(12) GI-13-065(10) ASME V ART.6 / 7 I-ET-3010.90-1200- 955-PPC-001(0) Nota 3, 4, 10	ASME VIII DIV1 APEND.8 Parág. 8-4 APEND.6 Parág. 6-4	

Plano de Inspeção e Testes – PIT

PLANO DE INSPEÇÃO E TESTE INSPECTION AND TEST PLAN											
LEGENDA: LEGEND											
1 - LOCAL DA INSPEÇÃO:		2 - INSPEÇÕES POR: INSPECTION BY:				3-REGISTRO: RECORD					
INSPECTION PLACE:		HP = HOLD POINT - PARADA OBRIGATORIA		RD = REVIEW DOCUMENTS		BAR = BARDELLA			A = REGISTRO DA QUALIDADE É APLICAVEL		
F = FABRICA (BARDELLA)		(NOTIFICAÇÃO E APLICAVEL)		VERIFICAÇÃO DE DOCUMENTOS		EJA = ██████████			(CARIMBO, RI OU LM)		
S = SUBFORNECEDOR		WP = WITNESS POINT - PONTO DE OBS. SEM		X = INSPEÇÃO PELA BAR		TP = ██████████			QUALITY RECORD IS APPLICABLE "STAMP,		
SUBSUPPLIER		INTERRUPÇÃO DO PROCESSO - (NOTIFICAÇÃO É APLICAVEL)		INSPECTION BY BAR		BV = BUREAU VERITAS			INF. REPORT or LIST OF MATERIALS"		
		MP = MONITORING POINT - PONTO DE MONITORAMENTO (SEM CONVOCAÇÃO PELA BAR)		- = NÃO APLICAVEL		(CLASSIFICATION SOCIETY)			C = CERTIFICADO CERTIFICATE		
				NOT APPLICABLE					R = RELATÓRIO REPORT		
ITEM	INSPEÇÕES E ENSAIOS INSPECTIONS AND TESTS	AMOST. SAMPLE (%)	1	2				3	PROCEDIMENTOS/ DOCUMENTOS DE INSPEÇÃO INSPECTION DOCs AND PROCEDURES	CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO STANDARD	OBS. REMARK
				BAR	EJA	TP	BV				
8.2	Visual externo e interno do equipamento, antes do Teste Hidrostático: <i>Visual external and internal of the equipment, before Hydrostatic Test</i>	100	F	X	-	-	HP	-	Desenho Drawing	Desenho Drawing	
8.3	Teste Hidrostático do equipamento: <i>Hydrostatic Test of the equipment</i>	100	F	X	HP	HP	HP	R	Desenho Drawing GI-13-066(07) I-ET-3010.90-1200- 540-PPC-002(A) ASME VIII DIV1 UG-99	ASME VIII DIV1 UG-99(g)	
8.4	Visual interno do vaso, verificação da drenagem, secagem e limpeza após Teste Hidrostático: <i>Visual inspection inside vessel, checking drainage, drying and cleaning after Hydrostatic Test</i>	100	F	X	-	-	-	-	Desenho Drawing	I-ET-3010.90-1200- 540-PPC-002(A) it 12.9	
8.5	Controle visual e dimensional da preparação da superfície para pintura: <i>Visual control and dimensional of the preparation of the surface for paint</i>	(*)	F	X	-	-	-	R	Desenho Drawing GI-13-069(05)(*) Nota 8	Especificação de Pintura Specification of paint	
8.6	Inspeção e ensaios na pintura: <i>Inspection and test on paint</i>	(*)	F	X	-	-	-	R	Desenho Drawing GI-13-069(05)(*) Nota 8	Especificação de Pintura Specification of paint	

**Tipo de Inspeção:** nível de participação do **inspetor do cliente** no acompanhamento do processo produtivo: “A”, “B”, “C”, “L” ou “Z”.

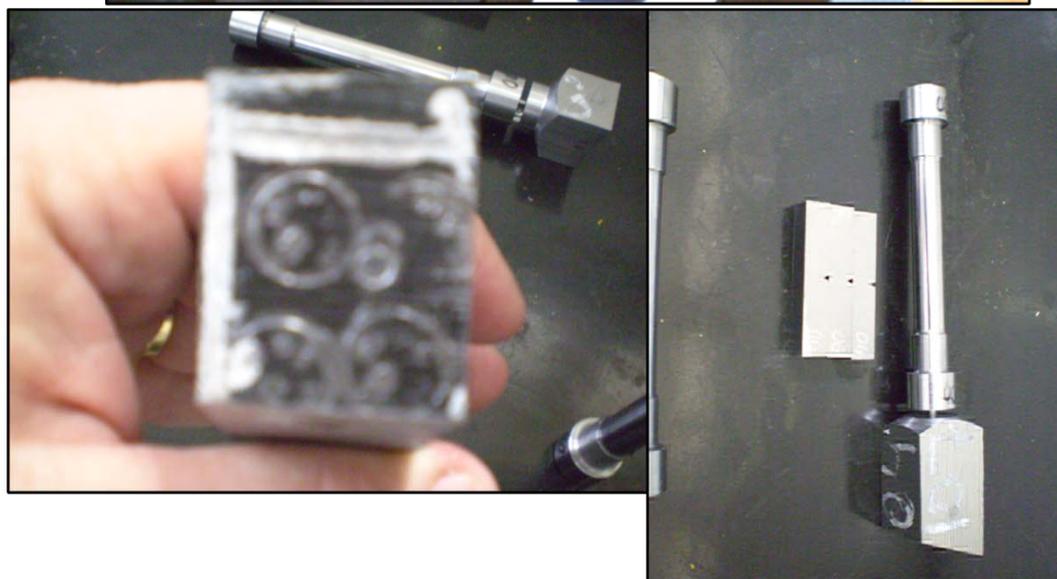
- **“A” e “B”** : participa da inspeção **final**;
- **“C”**: acompanha o **processo fabril** do fornecedor, **cria pontos de espera obrigatórios e de observação**, ao longo da fabricação. Acompanha a inspeção **final**;
- **“L”**: o fornecedor está **liberado** de inspeção em fábrica;
- **“Z – de incumbência da Unidade Requisitante”** (Petrobras): o inspetor é da refinaria para a qual é destinado o equipamento (alguns casos).

**QUADRO I - ATIVIDADES MÍNIMAS POR TIPO DE INSPEÇÃO DE FABRICAÇÃO**

Atividades Mínimas	Tipo de Inspeção		
	A	B	C
	Inspeção final sem testes	Inspeção final com testes	Acompanhamento de fabricação
Apresentação do Plano de Inspeção e Testes antes do início da fabricação;	(1)	(1)	(*) (2)
Verificação da certificação de matéria-prima e/ou registros da qualidade;	(*)	(*)	(*)
Verificação durante a fabricação (qualificação de pessoal, métodos e processos de fabricação, controle e ensaios intermediários);			(*) (3)
Testemunho de ensaios hidrostáticos e/ou pneumáticos, quando aplicável;		(*)	(*)
Verificação visual e dimensional final;	(*)	(*)	(*)
Testemunho de ensaios funcionais e/ou de desempenho finais;		(*)	(*)
Verificação do <i>data book</i> (quando previsto contratualmente) e da documentação técnica;	(*)	(*)	(*)
Identificação e embalagem.	(4)	(4)	(4)

(\*) - atividade obrigatória

**LOM3084 - INSPEÇÃO E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS**



**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**



**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**



**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**



**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**



**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

Empilhadora/ recuperadora de minérios- Stacker /Reclaimer



P

ert

Empilhadora/ recuperadora de minérios- Stacker /Reclaimer



# LÍQUIDOS PENETRANTES

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

## HISTÓRICO

- Iniciou **antes da primeira guerra** mundial: indústria ferroviária na inspeção de eixos;
- Tomou impulso **a partir de 1942**, nos EUA, quando do desenvolvimento do método de **penetrantes fluorescentes**: indústrias aeronáuticas - **ligas não ferrosas** - ensaio por **partículas magnéticas não é aplicável** a materiais não magnéticos;
- A partir da segunda guerra mundial, o método foi se desenvolvendo, através da pesquisa e o aprimoramento de novos produtos utilizados no ensaio, até seu estágio atual.

## FINALIDADE DO ENSAIO

- Detectar **descontinuidades superficiais** que aflorem na superfície: trincas, poros, dobras, etc.;
- Pode ser **aplicado** em todos os materiais **sólidos não porosos** e com superfície **não** muito grosseira;
- É muito usado em **materiais não magnéticos** como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio, e zircônio, além dos **materiais magnéticos**;
- É também aplicado em **cerâmica vitrificada, vidro e plásticos**.

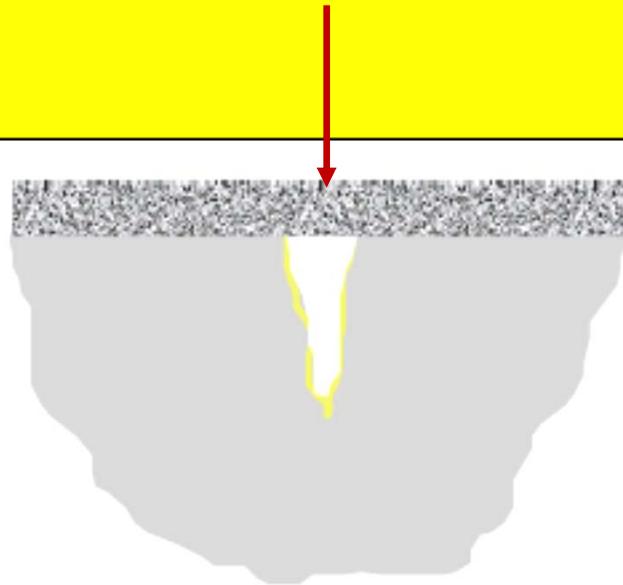
## PRINCÍPIO

Fazer **penetrar na abertura** da descontinuidade um **líquido** e, após a **remoção do excesso**, faz-se **sair da descontinuidade** o líquido retido por meio de um **revelador**. A imagem da **descontinuidade** fica então **desenhada sobre a superfície**.

## MÉTODO DE ENSAIO

### a) Preparação da superfície - Limpeza inicial

Antes de se iniciar o ensaio, a superfície deve ser **limpa e seca**. Superfície **isenta de água, óleo ou outro contaminante**. **Contaminantes ou excesso de rugosidade, ferrugem, etc**, tornam o ensaio **não confiável**.





**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

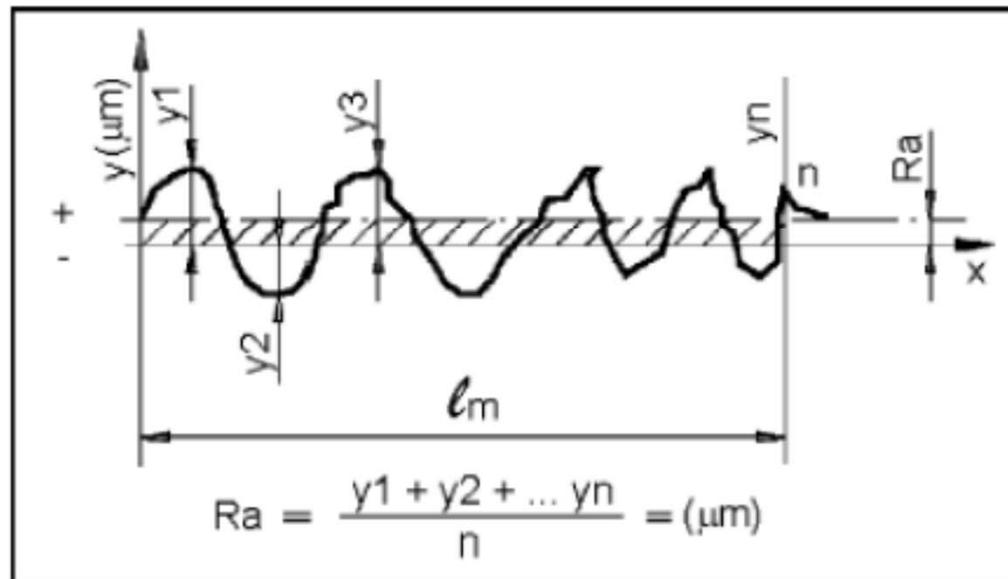
## RUGOSIDADE

### Rugosidade média (Ra)

É a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento ( $y_i$ ), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição ( $l_m$ ). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição ( $l_m$ ).

Esse parâmetro é conhecido como:

Ra (*roughness average*) significa rugosidade média;

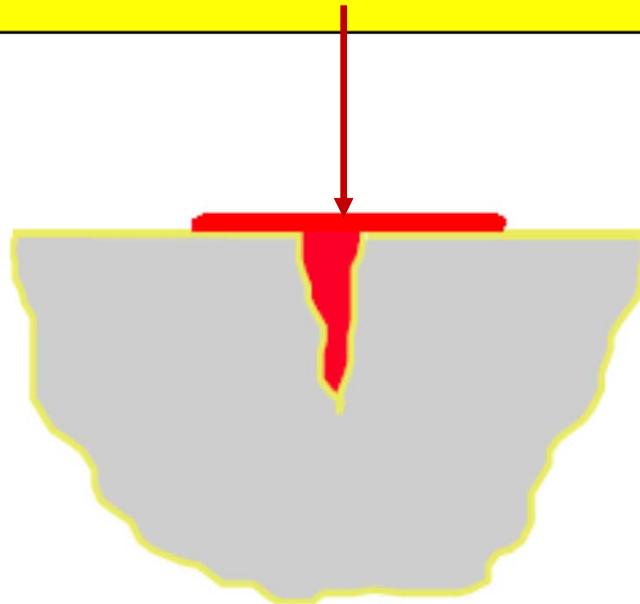


Ra	APLICAÇÕES TÍPICAS DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL
0,01	Blocos-padrão, réguas triangulares de alta precisão: guias de aparelhos de medida de alta precisão.
0,02	Aparelhos de precisão, suuperfícies de medida em micrômetros e calibres de precisão.
0,03	Calibradores, elementos de válvulas de alta pressão hidráulicas.
0,04	Agulhas de rolamentos, suuperacabamento de camisa de bloco de motor.
0,05	Pistas de rolamentos, peças de controle de alta precisão.
0,06	Válvulas giratórias de alta pressão, camisas de blocos de motores.
0,08	Agulhs de rolamentos de grandes dimensões, colos de virabrequim.
0,1	Assentos cônicos de válvulas, eixos montados sobre mancais de bronze, teflom, etc., a velocidades médias.
0,15	Rolamentos de dimensões médias, colos de rotores de turbinas e redutores.
0,2	Mancais de bronze, náilon, etc. Cones de cubos sincronizados de caixa de câmbio de automóveis
0,3	Flancos de engrenagens.
0,4	Pistas de assento de agulhas de cruzetas em cardas, superfície de guia de elementos de presisão.
0,6	Válvulas de esfera, tambores de freio
1,5	Assentos de rolamentos em eixos com carga pequena, eixos e furos para engrenagens, cabeças de pistão.
2	Superfícies usinadas em geral, eixos, chavetas de precisão, alojamentos de rolamentos.
3	Superfícies usinadas, superfícies de referência, de apoio, etc.
4	Superfícies desbastadas por operação de usinagem
5 a 15	Superfícies fundidas, superfícies estampadas.
Maior que 15	Peças fundidas, forjadas e laminadas.

## MÉTODO DE ENSAIO

### b) Aplicação do Penetrante

Aplicação de um líquido chamado **penetrante**, geralmente de **cor vermelha**, formando um filme sobre a superfície e que por ação do fenômeno chamado **capilaridade** penetra na descontinuidade, **após** um determinado **tempo**.

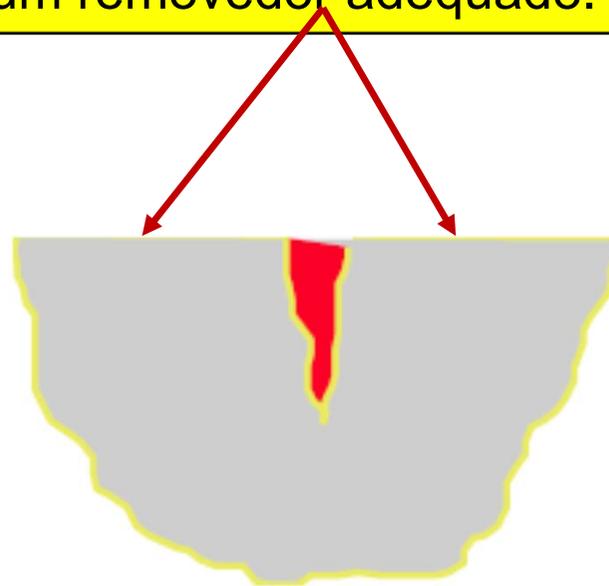


Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

## MÉTODO DE ENSAIO

c) Remoção do excesso de penetrante.

Remoção do excesso do penetrante da superfície, utilizando-se produtos adequados. A superfície deve ficar isenta de qualquer resíduo de LP. Para cada tipo de LP existe um removedor adequado.

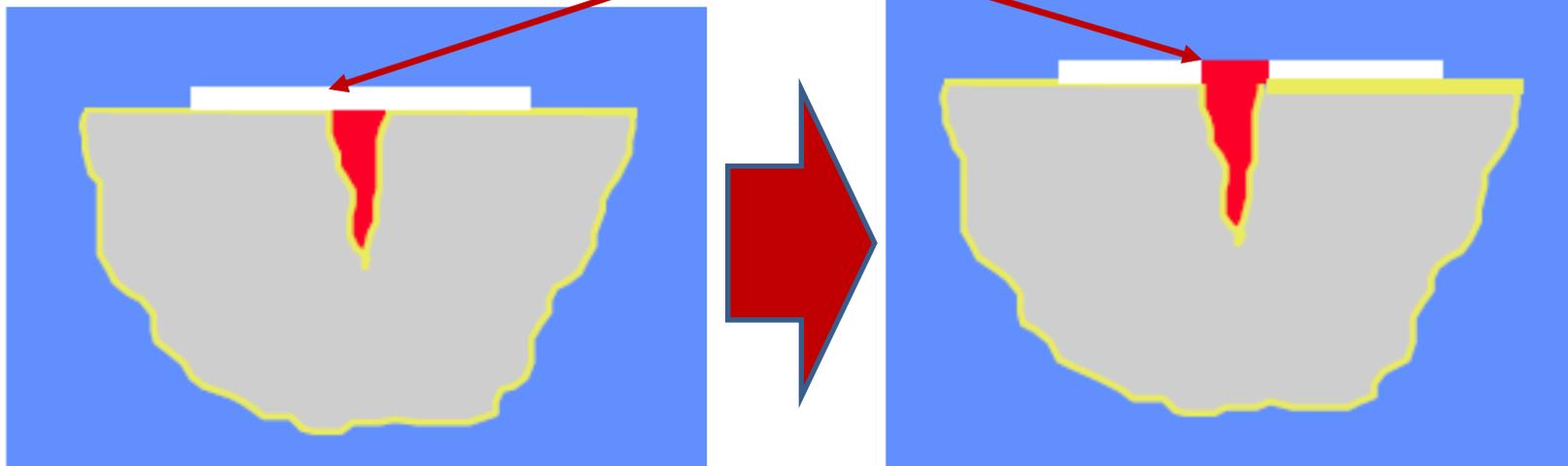


**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

## MÉTODO DE ENSAIO

### d) Revelação

Aplicação de um filme uniforme de revelador sobre a superfície. O revelador é usualmente um pó fino (talco) branco. Pode ser aplicado seco ou em suspensão (spray). O revelador age absorvendo o penetrante das discontinuidades e revelando-as.



**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

## MÉTODO DE ENSAIO

### e) Avaliação e Inspeção

- Boas condições de **luminosidade**: penetrante do tipo **visível** (cor **contrastante** com o revelador) ou sob **luz negra**, em área escurecida, caso o penetrante seja **fluorescente**;
- **Critério de aceitação**: norma, especificação do cliente;
- **Relatório** escrito: **condições** do ensaio, tipo e **identificação** da peça ensaiada, **resultado** da inspeção e condição de **aprovação ou rejeição** da peça.

## MÉTODO DE ENSAIO

### f) Limpeza pós ensaio

- Geralmente obrigatória: retirada de todos os resíduos de produtos;
- Podem prejudicar etapa posterior de trabalho: soldagem, usinagem, etc.

## VANTAGENS

- Facilidade de execução;
- Facilidade de visualização da descontinuidade (foto);
- Não há limite de dimensões;
- Revela descontinuidades bastante finas: 0,001mm de abertura.

## LIMITAÇÕES

- Descontinuidade deve aflorar na superfície e sem bloqueio;
- A superfície não pode ser porosa ou absorvente;
- Não é confiável em temperaturas abaixo de 10°C ou acima de 52°C;
- A limpeza, após o ensaio, pode ser uma limitação, quando o LP é difícil de retirar: indústria alimentícia ou pré-soldagem.

## CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS AO LP

- a) Rápida **penetração** em aberturas finas;
- b) Permanecer em aberturas relativamente grandes;
- c) **Não evaporar** ou secar rapidamente;
- d) **Facilidade de limpeza**;
- e) **Facilidade de revelação**;
- f) **Molhabilidade**;
- g) Brilho (cor ou fluorescente);
- h) A cor ou a fluorescência deve permanecer quando exposto ao calor, luz ou luz negra;
- i) Não reagir com sua embalagem nem com o material a ser testado;
- j) Não inflamável;
- k) Estável para estocagem ou utilização;
- l) **Atóxico** ;
- m) **Baixo custo**.

## PROPRIEDADES

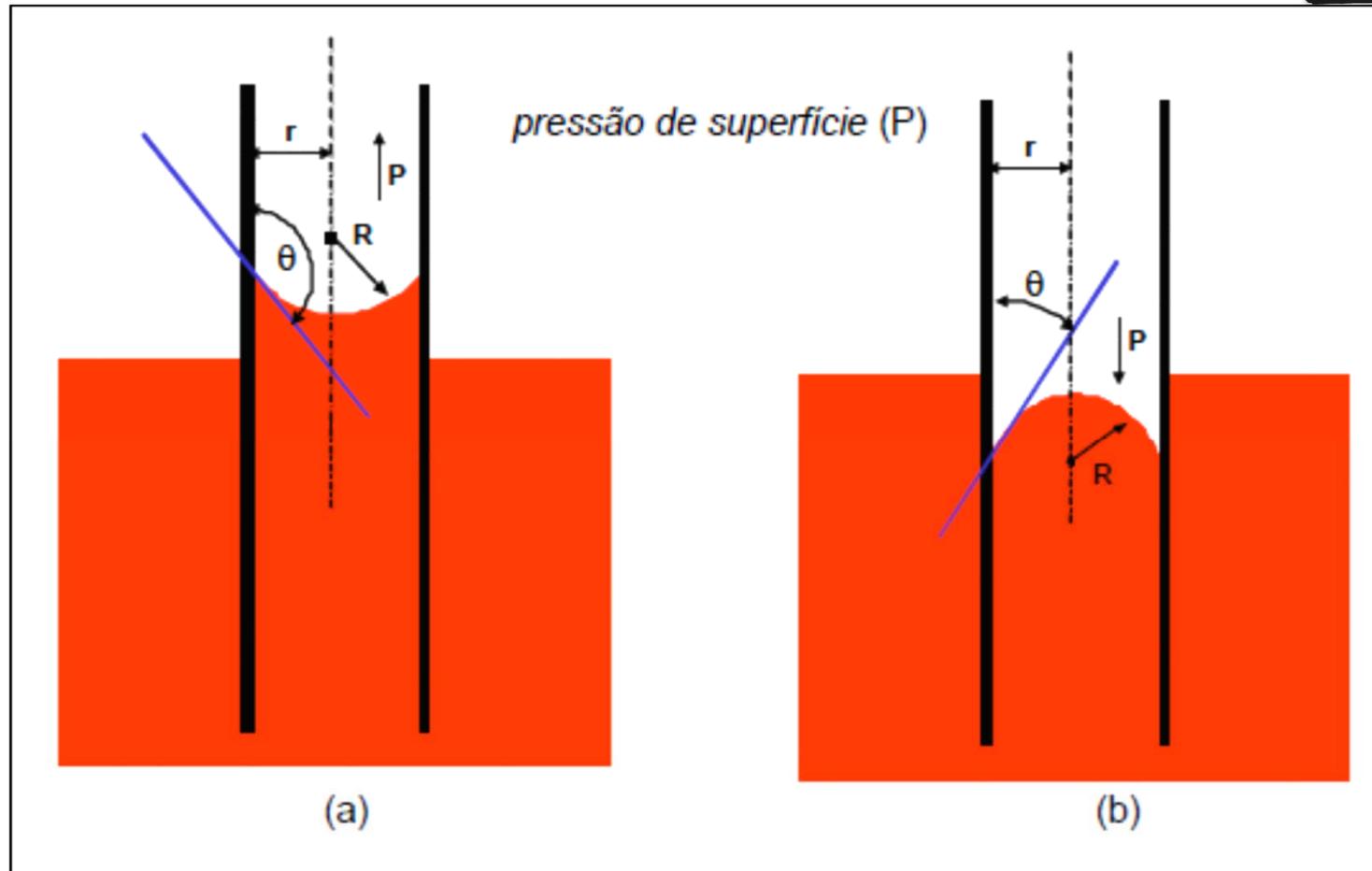
### 1. Viscosidade adequada

- Alta viscosidade: difícil penetração, podem ser extraídos da descontinuidade na remoção do excesso;
- Baixa viscosidade: dificuldade em permanecer dentro da descontinuidade.

## PROPRIEDADES

### 2. Tensão superficial

- **Força** que existe na superfície de líquidos: fortes ligações intermoleculares;\*
- Pode ser definida como a **força por unidade de comprimento (N/m)** que duas camadas superficiais exercem uma sobre a outra;
- Pode ser estudada pelo fenômeno da **capilaridade**: tubo capilar (tubo muito fino), interação entre as moléculas do líquido e os átomos do material do tubo geram a formação de uma **concavidade (a)** ou uma **convexidade (b)** na superfície do líquido, devido ao efeito de **tensão superficial** nos líquidos.



$$P = \frac{2 \cdot \gamma}{R}, \text{ onde } \gamma \text{ é a tensão superficial}$$

Como:  $\text{Cos}(\theta) = r/R$

Logo:  $P = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \text{cos}(\theta)}{r}$

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

## PROPRIEDADES

### 2. Tensão superficial

- Pressão de capilaridade (**P**) é **diretamente proporcional** à tensão superficial ( **$\gamma$** ) do penetrante e **inversamente proporcional** ao raio do tubo capilar (**r**);
- Portanto, quanto **maior a tensão superficial**, **melhor** a propriedade de **capilaridade** do líquido penetrante.

Variação da Pressão Capilar e a Tensão Superficial

Tensão Superficial $\gamma$ (N.m <sup>-1</sup> )	Raio do Tubo Capilar $r$	Pressão Capilar - P (Pa)
0,025	1,0 mm	50
0,035	1,0 mm	70
0,025	0,1 mm	500
0,035	0,1 mm	700
0,025	0,01 mm	5000
0,035	0,01 mm	7000
0,025	1 $\mu$ m	50000
0,035	1 $\mu$ m	70000

Fonte: Handbook – Liquid Penetrant Testina. Part 1

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

\* LEMBRANDO

EXEMPLO: **SOLDIFICAÇÃO** DE UM METAL PURO .

SUPONDO QUE SEJA UM METAL CFC , ÁTOMOS DO **INTERIOR** DA PARTÍCULA **SÓLIDA** ESTÃO FORTEMENTE LIGADOS A 12 OUTROS ÁTOMOS (REDE CRISTALINA), ENQUANTO QUE OS DA **INTERFACE**, ESTÃO EM CONTATO COM O **INTERIOR** DA PARTÍCULA E COM O **LÍQUIDO** (LIGAÇÕES FRACAS, AMORFO).

ÁTOMOS DA **INTERFACE** ESTÃO FORTEMENTE LIGADOS AOS ÁTOMOS DO **INTERIOR** DA PARTÍCULA **SÓLIDA** MAS **NÃO** AOS ÁTOMOS DO **LÍQUIDO**.



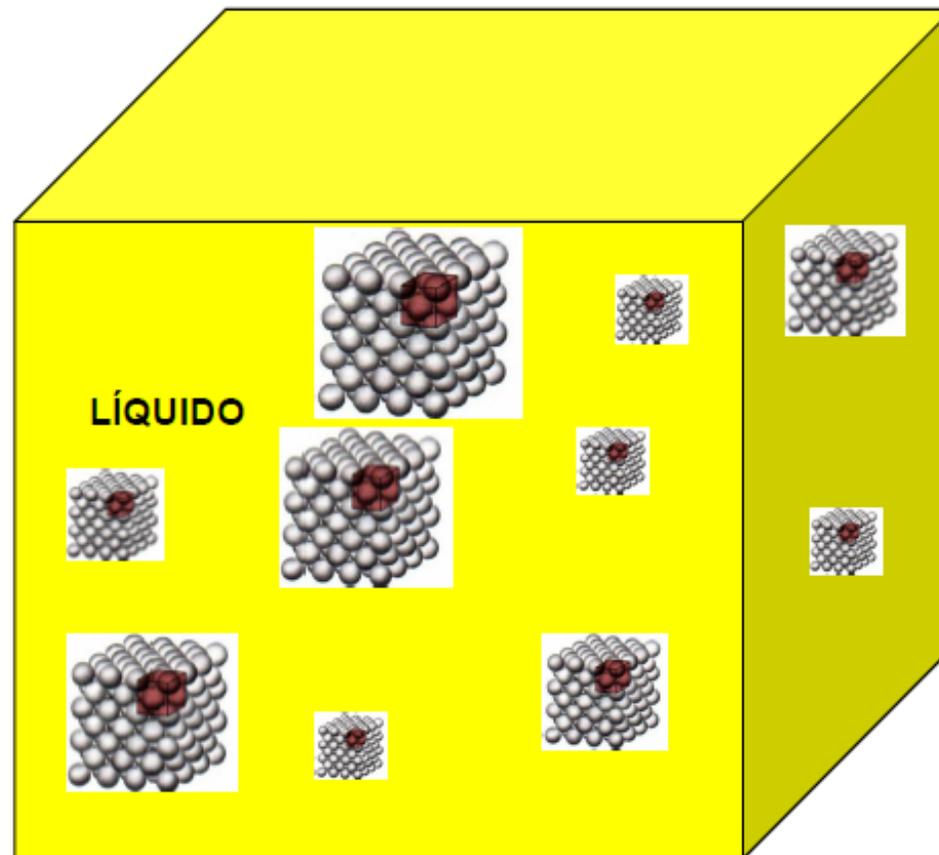
**QUEBRA DO EQUÍLÍBRIO: LIGAÇÃO FORTE COM MENOS DE 12 ÁTOMOS E LIGAÇÕES QUÍMICAS NÃO SATISFEITAS, LIGAÇÕES FRACAS.**



**EXCESSO DE ENERGIA LIVRE:**

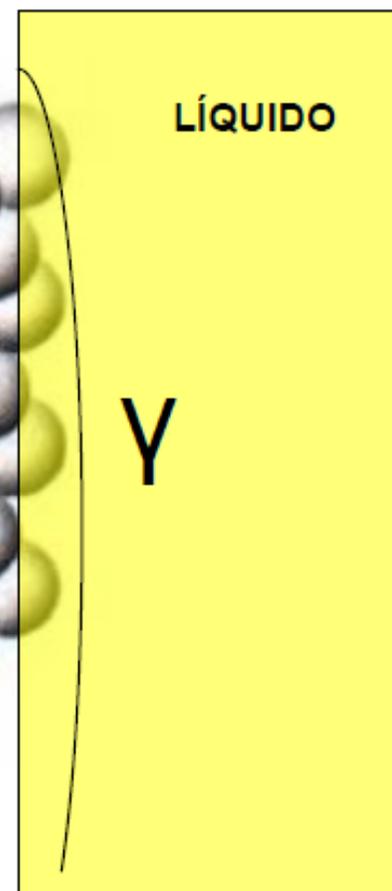
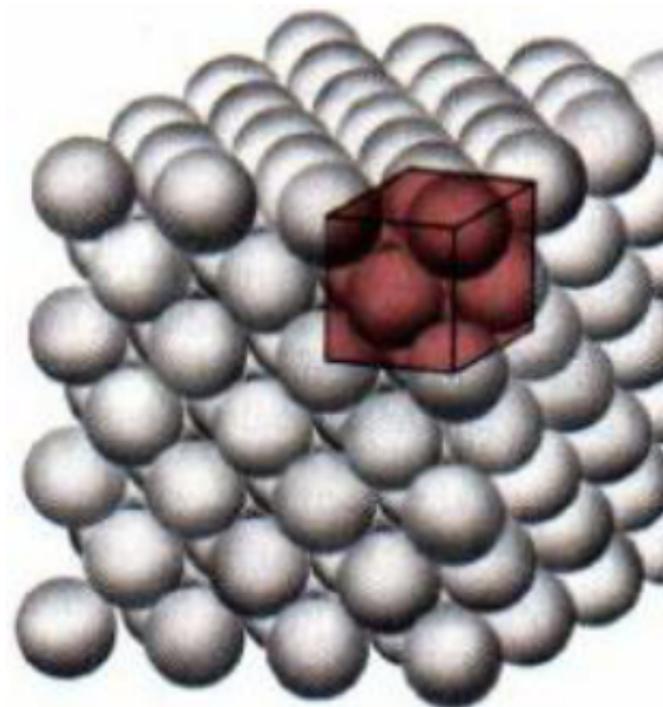


$$\gamma_{SL}$$

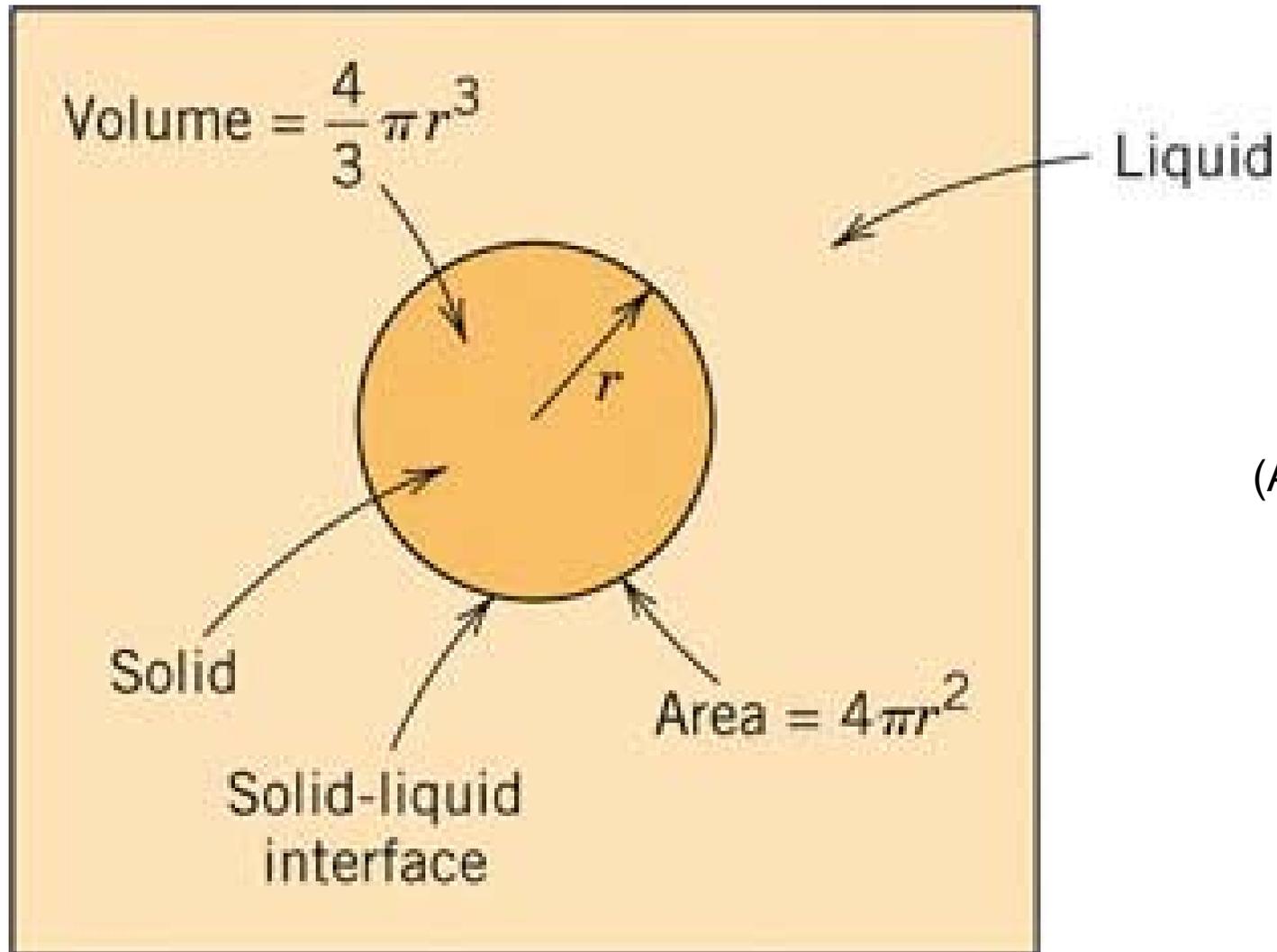


Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

SÓLIDO



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



(Adaptado:CALLISTER)

**INTERFACES - ENERGIA SUPERFICIAL**

A energia de superfície é o aumento de energia livre por unidade de área de uma nova superfície formada .

$$\gamma_e = \left( \frac{dG}{dA} \right)$$

(Adaptado: Prof.Dr. Douglas Gouvêa –EPUSP)

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

**ENERGIA SUPERFICIAL  
≠  
TENSÃO SUPERFICIAL**

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

**INTERFACES - TENSÃO SUPERFICIAL**

Tensão superficial (ou interfacial),  $\gamma$ , é o trabalho reversível,  $w_r$ , necessário para aumentar a superfície (ou interface) de uma unidade de área .

$$\gamma = \frac{dw_r}{dA}$$

(Adaptado: Prof.Dr. Douglas Gouvêa –EPUSP)

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

## INTERFACES - TENSÃO SUPERFICIAL

NO CASO DOS **LÍQUIDOS**, QUE SÃO **AMORFOS E ISOTRÓPICOS**:  
ENERGIA SUPERFICIAL É **IGUAL** A TENSÃO SUPERFICIAL.

NO CASO DOS **SÓLIDOS**, A TENSÃO SUPERFICIAL DEPENDE DOS  
PLANOS ATÔMICOS EXPOSTOS NA INTERFACE E ESSE VALOR **PODE**  
**SER DIFERENTE** DA ENERGIA SUPERFICIAL.

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

## PROPRIEDADES

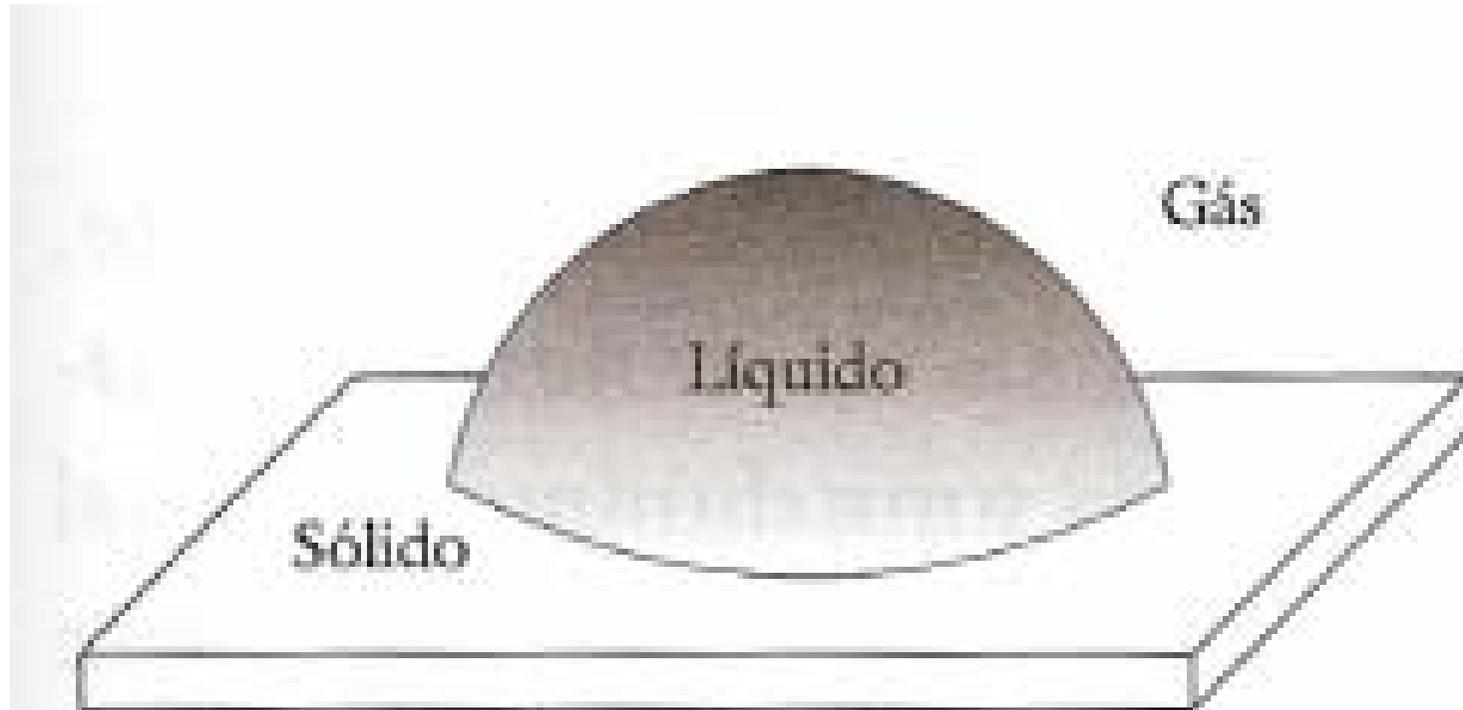
### 3. Molhabilidade

- “Capacidade de se espalhar”;
- Melhor a molhabilidade, melhor o penetrante;
- Associada à tensão superficial: agentes tensoativos são incluídos na formulação do penetrante.

INTERFACES - ENERGIA SUPERFICIAL

QUANDO UMA PARTÍCULA **LÍQUIDA** SOBRE UMA SUPERFÍCIE **SÓLIDA** APRESENTA **AFINIDADE** COM ESTA SUPERFÍCIE OCORRE O CHAMADO “**MOLHAMENTO**” PARCIAL DA SUPERFÍCIE, PELO LÍQUIDO.

**INTERFACES - ENERGIA SUPERFICIAL**

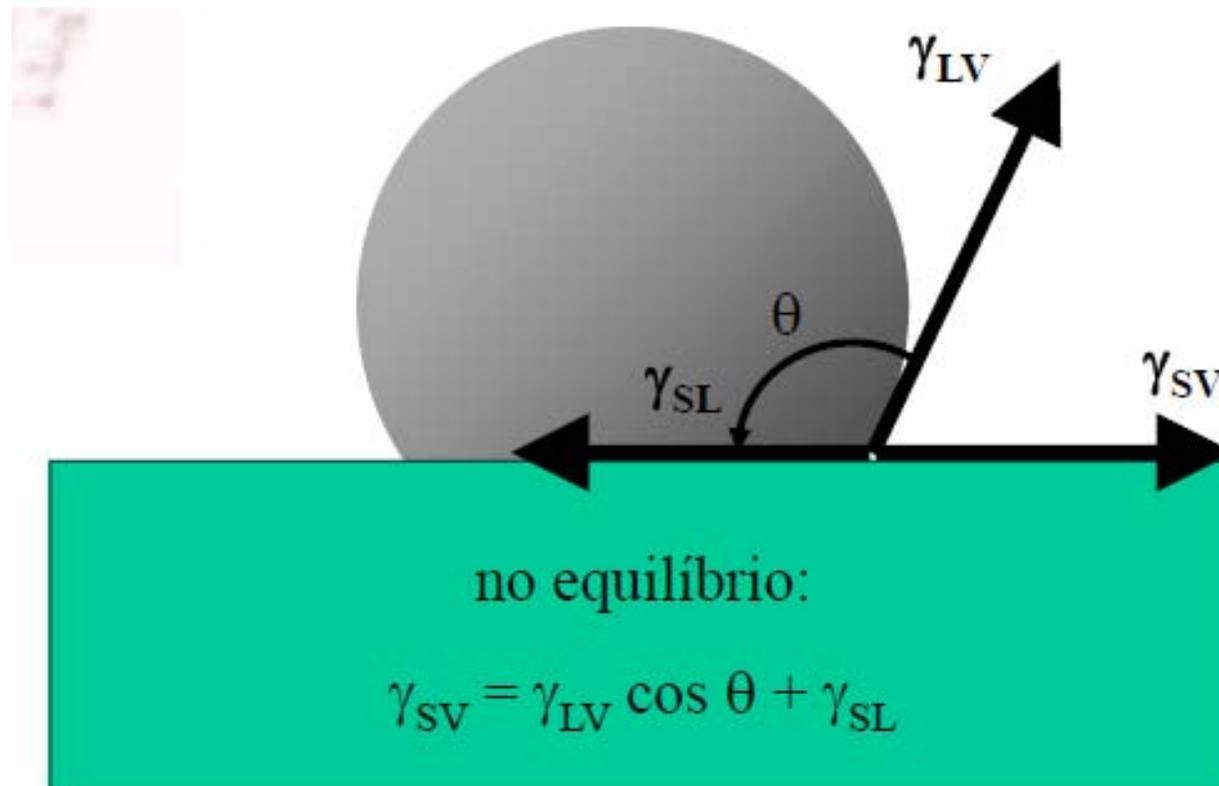


**MOLHAMENTO PARCIAL**

(Adaptado: Prof.Dr. Rezende Gomes dos Santos-Transformações de fases)

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

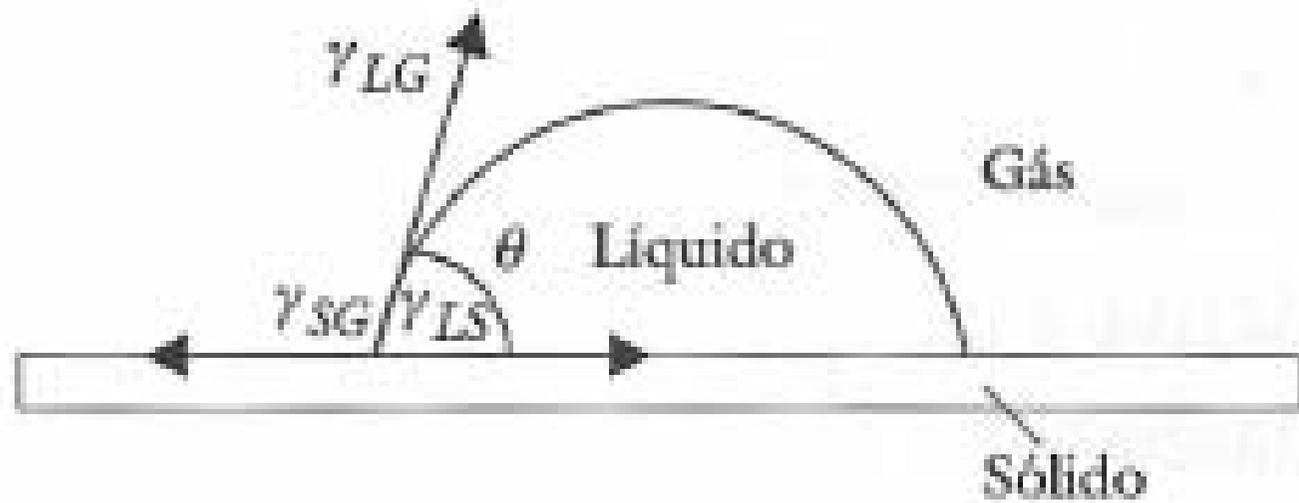
INTERFACES - ENERGIA SUPERFICIAL



(Adaptado: Prof.Dr. Douglas Gouvêa –EPUSP)

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

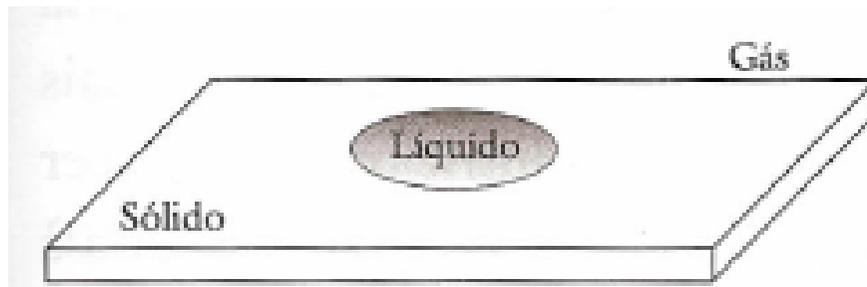
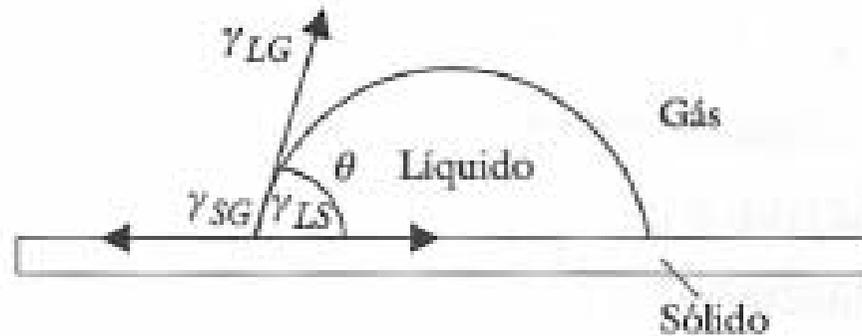
INTERFACES - ENERGIA SUPERFICIAL



(Adaptado: Prof.Dr. Rezende Gomes dos Santos-Transformações de fases)

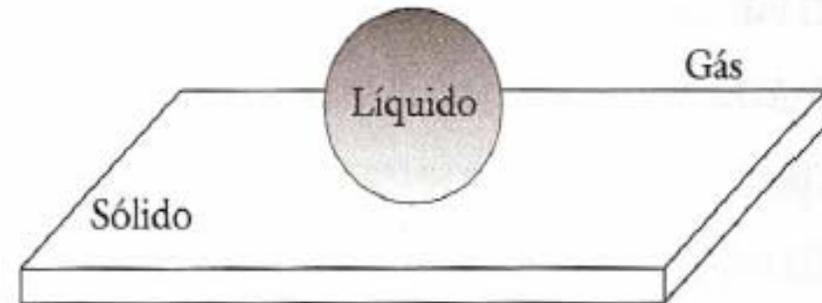
**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**

INTERFACES - ÂNGULO DE MOLHAMENTO



$\theta = 0^\circ$  molha totalmente

$$\gamma_{SG} > \gamma_{LS} + \gamma_{LG}$$



$\theta = 180^\circ$  não molha

$$\gamma_{LS} > \gamma_{LG} + \gamma_{SG}$$

INTERFACES - ÂNGULO DE MOLHAMENTO

MELHOR CONDIÇÃO PARA O LP.

$$\theta = 0^\circ \quad \gamma_{SG} > \gamma_{LS} + \gamma_{LG}$$

NESTE CASO, A FORMAÇÃO DE UMA INTERFACE ENTRE SÓLIDO E GÁS, AUMENTA A ENERGIA DO SISTEMA. O LÍQUIDO SE ESPALHA, REDUZINDO A ÁREA DESTA INTERFACE.

## PROPRIEDADES

### 4. Volatilidade

- Regra geral: penetrante não deve ser volátil;
- Derivados de petróleo: quanto maior a volatilidade, maior a viscosidade;
- Desejável: viscosidade média, os penetrantes são mediantemente voláteis;
- Quanto mais volátil o penetrante, menos tempo de penetração pode ser dado.

## PROPRIEDADES

### 5. Ponto de fulgor

- Ponto de fulgor é a **temperatura** na qual há uma quantidade tal de **vapor na superfície** do líquido que a presença de uma chama pode **inflamá-lo**;
- Bom LP: **alto ponto de fulgor** (acima de 200°C).

Tabela 2 - Pontos de fulgor de alguns líquidos

LIQUIDO	Ponto de Fulgor
Acetona	- 18° C
Nafta	- 1° C
Álcool metílico	12° C
Álcool etílico	14° C
Glicerina	160° C

## PROPRIEDADES

### 6. Capacidade de dissolução

- **Dissolução** de produto **corante** ou **fluorescente**.

### 7. Toxicidade

- **Não** pode ser **tóxico**, **nem** possuir **odor** exagerado e **nem** causar **irritação na pele**.

**TODOS OS ENSAIOS DEVEM TER UM PROCEDIMENTO ESCRITO,  
QUE DEVE SER SEGUIDO!**

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**



Aplicação do penetrante com pincel



Remoção do penetrante com pano



Remoção com spray de água



Aplicação do revelador por pulverização com pistola de pintura

Tabela 4 - Tempos mínimos de penetração recomendados pelo ASME Sec. V Art. 6 - Tabela 672

Material	Forma	Tipo de Descontinuidade	Tempo de Espera <sup>A</sup> min.	
			Penetrante	Revelador
Alumínio, Magnésio, aço, bronze, titanium, altas ligas	Fundidos e Soldas	porosidade, trincas, (todas as formas) falta de fusão, gota fria	5	10
Plásticos	todas as formas	trincas	5	10
Vidros	todas as formas	trincas	5	10
Cerâmicas	todas as formas	trincas, porosidade	5	10

A - Para temperaturas de 10 a 52 °C

### **Iluminação com luz natural (branca):**

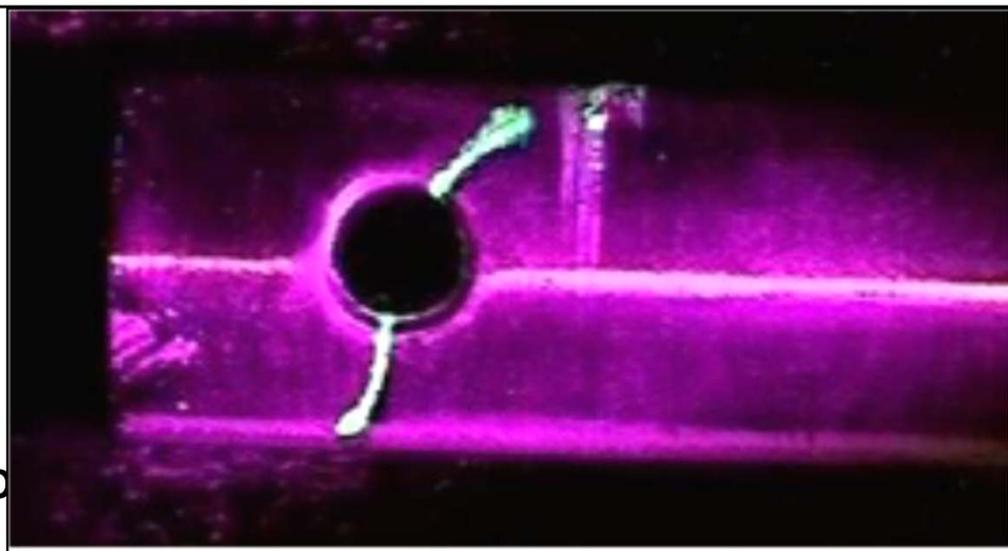
- A luz branca: luz do sol, lâmpada de filamento, lâmpada fluorescente;
- Luz aproximadamente 90° em relação à amostra: contraste com o fundo branco da camada de revelador faz com que a indicação se torne escurecida;
- A intensidade da luz ideal: acima de 1000 Lux (Código ASME Sec. V ) - **luxímetro** .

## Iluminação com Luz ultravioleta (“luz negra”):

- Luz “negra”: aquela que tem **comprimento de onda menor** do que o **menor** comprimento de onda da **luz visível**;
- Leva ao fenômeno da fluorescência do material fluorescente contido no LP;
- **Filtros** que eliminam os comprimentos de onda desfavoráveis (**luz visível e luz ultravioleta**) na cabine;
- Comprimento de ondas utilizados: de **3500 a 4000 Å**;
- **Intensidade** de luz ultravioleta indicada: **1000mW/cm<sup>2</sup> (radiômetro)**.



**Luminária de luz ultravioleta (luz negra)**



Pro

chert

## CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

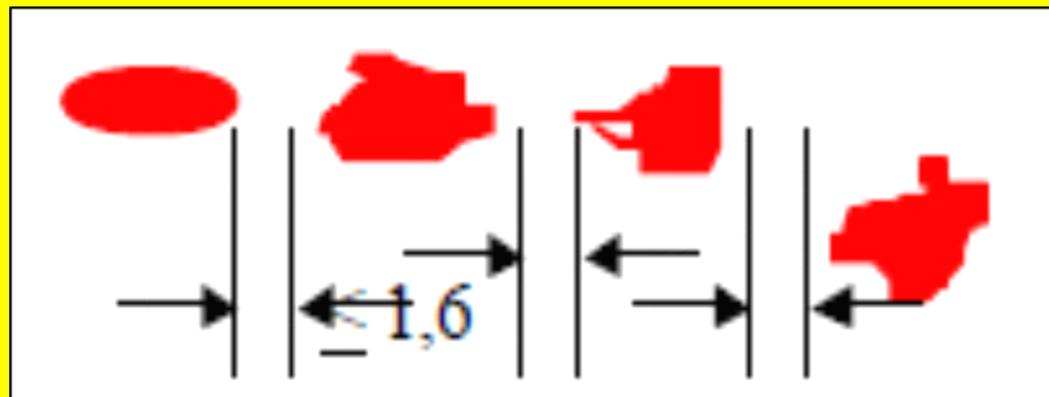
### EXEMPLO DE CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

#### ASME SEC.VIII DIV.1 AP.8 ; SEC. VIII DIV 2 ART. 9-2 Par. 9-230 e SEC. I

- Somente **indicações** com dimensões **maiores** que 1/16 pol. (**1,6 mm**) devem ser registradas;

Toda as superfícies devem estar livres de :

- (a) indicações relevantes lineares ;
- (b) indicações relevantes arredondadas maiores que 3/16 pol. (4,8 mm);
- (c) quatro ou mais indicações relevantes arredondadas em linha separadas por 1/16 pol. (1,6 mm) ou menos (de borda a borda)





## CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

### OUTRO EXEMPLO DE CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

**CCH-70 / PT 70-2)-Normas para inspeção em fundidos aplicados à componentes hidráulicos**

#### **Avaliação das Indicações**

**Indicações Arredondadas : comprimento menor que três vezes a largura.**



### **Critério de Aceitação**

A área inspecionada será avaliada e classificada por comparação com cinco classes de qualidade numeradas de 1 a 5, em ordem decrescente de qualidade.

A área de referência para avaliação é de  $1 \text{ dm}^2$  (  $100 \text{ cm}^2$  ) na forma quadrada ou retangular com lado não superior a 250 mm.

#### Classe 1 de Qualidade

1. Nenhuma indicação arredondada com dimensão  $a > 3 \text{ mm}$  ;
2. Nenhuma indicação linear ;
3. Nenhuma indicação alinhada ;
4. A superfície total de indicações menor ou igual a  $10 \text{ mm}^2 / \text{dm}^2$

#### Classe 2 de Qualidade

1. Nenhuma indicação arredondada com dimensão  $a > 4 \text{ mm}$  ;
2. Nenhuma indicação linear ;
3. Nenhuma indicação alinhada ;
4. A superfície total de indicações menor ou igual a  $20 \text{ mm}^2 / \text{dm}^2$

#### Classe 3 de Qualidade

1. Nenhuma indicação arredondada com dimensão  $a > 5 \text{ mm}$  ;
2. Nenhuma indicação linear ;
3. Nenhuma indicação alinhada ;
4. A superfície total de indicações menor ou igual a  $50 \text{ mm}^2 / \text{dm}^2$

**RELATÓRIO DE ENSAIO  
LÍQUIDO PENETRANTE**

(IDENTIFICAÇÃO DO CEO)

PROCEDIMENTO - N.º REV. <i>PR - 001 Rev. 6</i>		CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO <i>ASME VIII Div. 1 Ap. 8</i>		RELATÓRIO N.º <i>1</i>
				FOLHA: <i>1</i> de <i>2</i>
MATERIAL <i>Aço Carbono</i>	N.º cp. <i>LP 1234 A</i>	CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE <i>Escovada</i>	NORMA DE REFERÊNCIA <i>ASME V - Ed. 2004</i>	

	REMOVEDOR	PENETRANTE	REVELADOR
Fabricante	<i>Magnaflux</i>	<i>Magnaflux</i>	<i>Magnaflux</i>
Marca/Modelo	<i>SKC 5</i>	<i>SKL WP</i>	<i>SKD 52</i>
Lote	<i>F222222</i>	<i>F000000</i>	<i>F111111</i>

N.º	Tipo de Descontinuidade	Localização (mm) de ... a ...	Dimensão (mm)	LAUDO	Croqui / Obsevação			
<i>1</i>	<i>TL</i>	<i>110 - 119</i>	<i>9</i>	<i>R</i>	<i>Iluminação: &gt; 1000 lux                      Temperatura: 25 C                      Luxímetro sem calibração.                      Pirômetro de contato com calibração vencida.                      Examinador autorizou o uso dos equipamentos nestas condições.</i>			
<i>2</i>	<i>TL</i>	<i>45 - 48</i>	<i>3</i>	<i>R</i>				
<i>3</i>	<i>PD</i>	<i>40 - 44</i>	<i>4</i>	<i>A</i>				
<p>LEGENDA:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;"> <b>Laudos:</b>                      A: Aprovado                      R: Reprovado                      NEC: Necessário Exame                 </td> <td style="width: 33%;"> <b>Descontinuidades</b>                      TL: Trinca Longitudinal                      TT: Trinca Transversal                      SO: Sobreposição                 </td> <td style="width: 33%;">                     FF: Falta de Fusão                      PO: Porosidade                      MO: Mordedura                 </td> </tr> </table>						<b>Laudos:</b> A: Aprovado R: Reprovado NEC: Necessário Exame	<b>Descontinuidades</b> TL: Trinca Longitudinal TT: Trinca Transversal SO: Sobreposição	FF: Falta de Fusão PO: Porosidade MO: Mordedura
<b>Laudos:</b> A: Aprovado R: Reprovado NEC: Necessário Exame	<b>Descontinuidades</b> TL: Trinca Longitudinal TT: Trinca Transversal SO: Sobreposição	FF: Falta de Fusão PO: Porosidade MO: Mordedura						
<input type="checkbox"/> APROVADO <input checked="" type="checkbox"/> REPROVADO <input type="checkbox"/> NEC								

NOME DO CANDIDATO: <i>Benedito da Silva</i>		NUMERO: <i>9990999</i>
MODALIDADE DO EXAME: <i>LP N2 G</i>	ASSINATURA DO CANDIDATO: <i>Bene da Silva</i>	
EMPRESA: <i>Autônomo</i>	DATA: <i>13/8/2012</i>	VISTO DO EXAMINADOR:

Prof

uchert

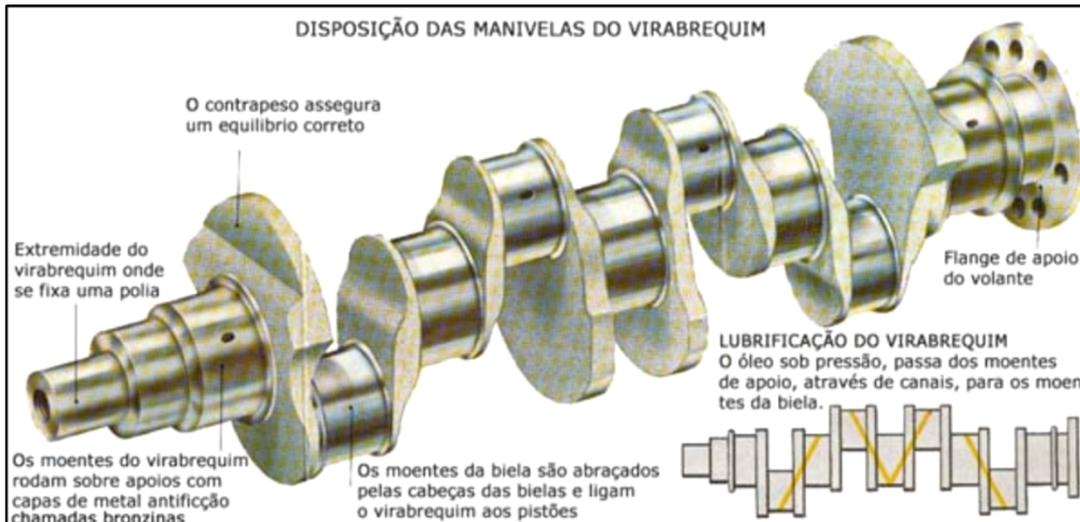


Figura 2.12 – Secção do virabrequim a ser ensaiada.

**FIM**

**Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert**