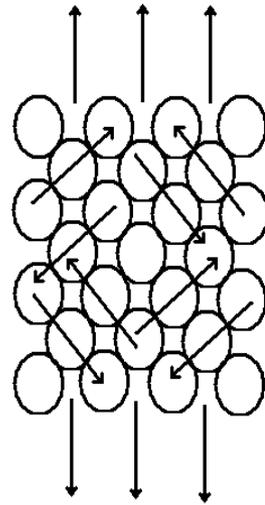
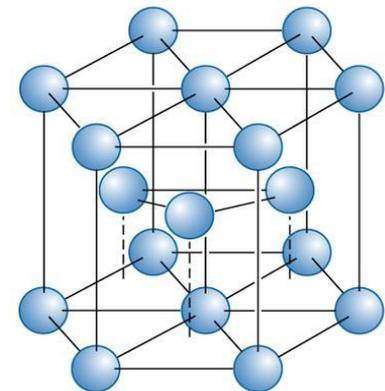
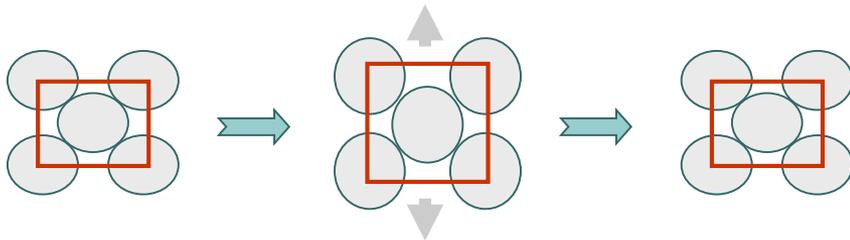




Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de Lorena
Departamento de Engenharia de Materiais

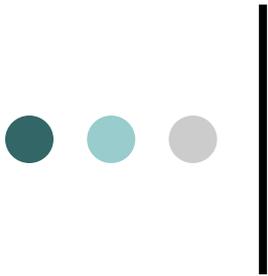


ENSAIO DE DUREZA E DE IMPACTO



Introdução à Ciência dos Materiais

Prof. Dr. Cassius O.F.T. Ruchert, Professor Associado



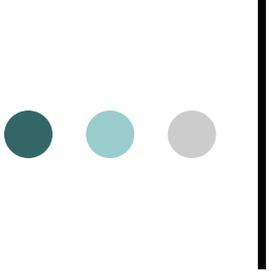
Dureza

Deformação Elástica e
Deformação Plástica

Definição: Medida da resistência de um material a uma deformação plástica (permanente) localizada (pequena impressão ou risco ou impacto)

Principais Vantagens:

- Fácil execução e barato (muito utilizado na indústria)
- Rapidez na execução
- Ensaio pode ser considerado não destrutivo (tamanho impr.)
- Conhecimento aproximado da resistência mecânica através do uso de tabelas de correlação



Dureza

Principais objetivos:

- ✓ Conhecimento das resistências mecânica e ao desgaste;
- ✓ Controle de qualidade nos processos de conformação plástica e nas condições de fabricação;
- ✓ Verificação das condições de tratamento térmico.

Métodos de medição:

- Dureza de risco (escala de Mohs)
- Dureza de choque ou ressalto (Shore)
- Dureza de penetração (Brinell, Meyer, Rockwell, Vickers, Knoop)

Seleção do Tipo de Ensaio de Dureza

Material	Tipo de Ensaio			
	Rockwell	Vickers	Knoop	Brinell
Aços macios, ligas de cobre, ligas de alumínio, ferro fundido maleável	●	●	●	●
Aços, ferros fundidos duros, ferro perlítico maleável, titânio, aço c/ endurecimento profundo	●	●	●	●
Metal duro, aços de pouca espessura, aço com endurecimento superficial	●	●	●	
Aços de pouca espessura, aço c/ endurecimento de média profundidade, ferro perlítico maleável	●	●	●	
Ferro fundido, alumínio, ligas de magnésio, metais macios	●	●	●	●
Ligas recozidas de cobre, chapas finas de metal macio	●	●	●	
Bronze fosforoso, berílio, cobre, alumínio, zinco, chumbo	●	●	●	●
Metais macios e outros materiais finos e macios	●	●	●	
Estanho	●	●	●	
Alumínio	●	●	●	●
Zinco	●	●	●	●
Pinturas e revestimentos orgânicos			●	
Borracha dura	●			
Plásticos	●	●	●	

Dureza Mohs - risco

O primeiro método padronizado de ensaio de dureza foi baseado no processo de riscagem de minerais padrões, desenvolvido por Mohs, em 1822.

Curiosidade Escala Mohs (1822)

- | | |
|----|------------------------|
| 1 | - Talco |
| 2 | - Gipsita |
| 3 | - Calcita |
| 4 | - Fluorita |
| 5 | - Apatita |
| 6 | - Feldspato (ortóssio) |
| 7 | - Quartzo |
| 8 | - Topázio |
| 9 | - Safira e corindo |
| 10 | - Diamante |

AUMENTO DA DUREZA

Indicação essencialmente qualitativa por comparação com outros minerais (*qualquer mineral da escala risca o que os precede e é riscado pelo seguinte*)

Pouco utilizada (imprecisa) nos metais (dureza entre 4 a 8)

Ex. aço dúctil corresponde a uma dureza de 6 Mohs, a mesma dureza Mohs de um aço temperado.

Dureza Shore (HS) – choque ou ressalto

Shore propôs uma medida de dureza por choque que mede a altura do ressalto de um peso que cai livremente até bater na superfície lisa e plana de um CP. Esta altura de ressalto mede a perda de energia cinética do peso, absorvida pelo CP.

Características e vantagens:

- Normalmente equip. portátil e de fácil utilização;
- Possibilidade de medir durezas de peças de grandes dimensões que não cabem em máquinas de penetração;
- Impressão muito pequena sendo utilizada em peças acabadas (controle qualidade);
- Utilizado em polímeros, borracha e metais.

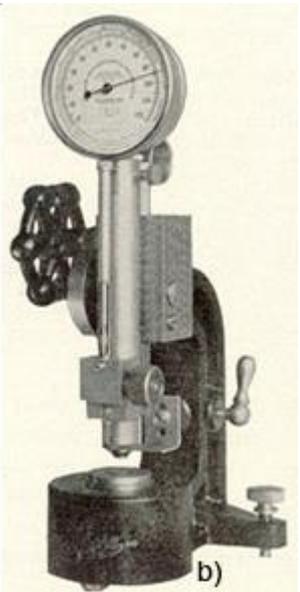


Bancada



Portáteis

Dureza Shore



Escleroscópico Shore

Dureza por penetração (princípios gerais)

Cuidados na realização dos ensaios:

- Perpendicularidade entre a força e a superfície da peça;
- Aplicação lenta da carga;
- Preparação correta da superfície da peça;
- Tempo de espera após aplicação da carga antes da descarga.

Valores de t:

Mg – 60s

Aços – 10s

São os ensaios de dureza mais utilizados na atualidade

Dureza Brinell (HB) – Ano 1900

Consiste em comprimir lentamente uma esfera de aço endurecido ou de carbeto de tungstênio (CW), de diâmetro D , sobre uma superfície polida e limpa de um metal através de uma carga F , durante um tempo t .

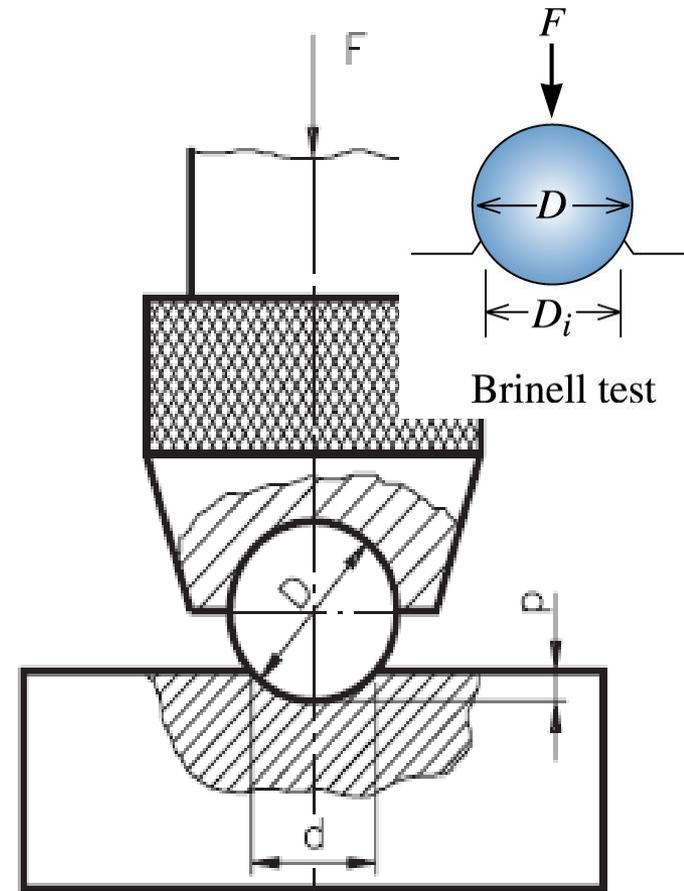
Penetrador esférico ϕ : 1,2 ,5 ou 10 mm

Cargas: entre 500 e 3000 kg

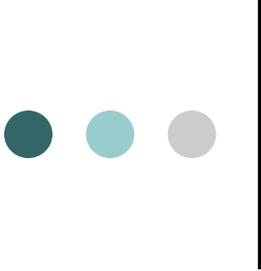
Tempo: entre 10 e 30 s

$$HB = \frac{F}{A_c} \quad HB = \frac{F}{\pi Dp}$$

Dureza Brinell

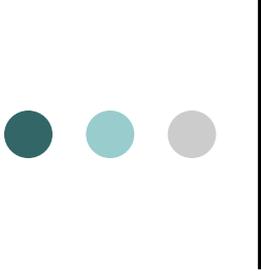


P = prof. de impressão (da calota)



Durezza Brinell (HB)

Teste de Durezza
Brinell



Relação carga (F) – diâmetro do penetrador (D)

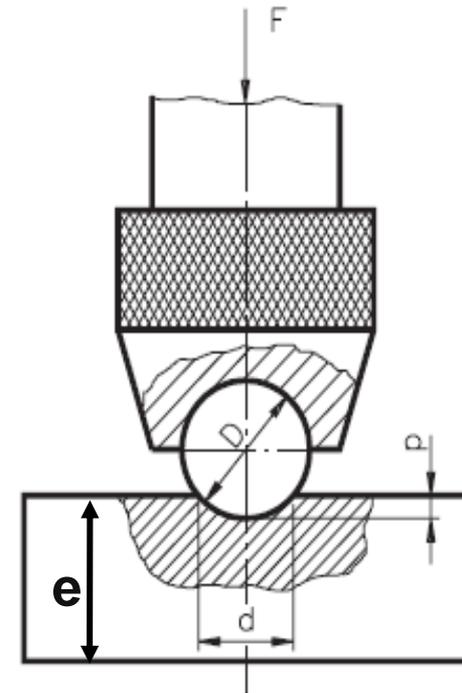
A relação carga aplicada e diâmetro do penetrador é dada por:

$$\frac{F}{D^2} = K = Cte. \quad \text{(Fator de carga)}$$

$\frac{F}{D^2}$	DUREZA	MATERIAIS
30	90 a 415 HB	Aços e ferros fundidos
10	30 a 140 HB	Cobre, alumínio e suas ligas mais duras
5	15 a 70 HB	Ligas antifricção, cobre, alumínio e suas ligas mais moles
2,5	até 30 HB	Chumbo, estanho, antimônio e metais-patente

Dureza Brinell (HB)

O diâmetro da esfera (D) é determinado em função da espessura do CP ensaiado (e). No caso da norma brasileira, a espessura mínima do material ensaiado deve ser 17 vezes a profundidade da calota (p).



O quadro a seguir mostra os diâmetros de esfera mais usados e os valores de carga para cada caso, em função do fator de carga escolhido.

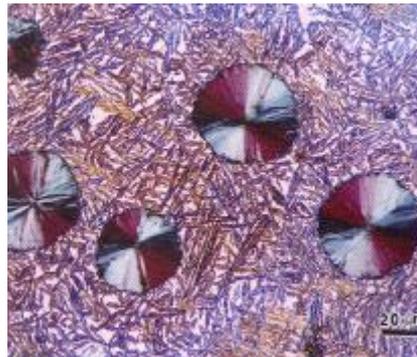
DIÂMETRO DA ESFERA (mm)	F (kgf) = $30 D^2$	F (kgf) = $10 D^2$	F (kgf) = $5 D^2$	F (kgf) = $2,5 D^2$
10	3.000	1.000	500	250
5	750	250	125	62,5
2,5	187,5	62,5	31,25	15,625

Mecanismo de Medição Brinell

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- D=diâmetro da esfera
- d=diâmetro da impressão*

*medido através de microscópio especial, utilizando uma escala gravada em sua ocular



Dureza Brinell



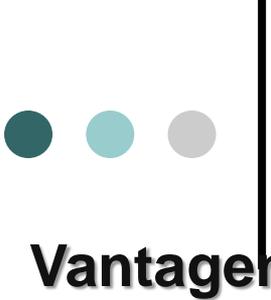
Relação entre dureza Brinell e limite de resistência

No caso dos aços existe uma relação empírica entre dureza Brinell e o limite de resistência, σ_r , dada por:

$$\sigma_r = 0,36 * HB \quad [\text{kgf/mm}^2]$$

Segundo O'Neill, o valor de 0,36 vale para aços doces, entretanto este valor pode mudar para:

- 0,49 para Ni recozido
- 0,41 para Ni e latão encruado
- 0,52 para cobre recozido
- 0,40 para alumínio e suas ligas.



Dureza Brinell (HB)

Vantagens e limitações

Vantagens:

- Conhecimento aproximado da resistência do material sem atingir a ruptura;
- Baixo custo e simples operação;
- Geralmente a deformação produzida não afeta o comportamento do material;
- Ensaio pode ser considerado não destrutivo (depende do tamanho da impressão final e do uso do componente)

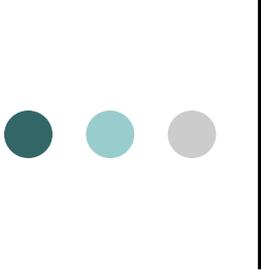
Limitações:

- Não é aplicável em peças muito finas e em materiais muito duros;
- Método relativamente lento para a produção industrial;
- A impressão obtida é muito grande para peças acabadas.

Dureza Rockwell (HR) - 1922

- Método mais utilizado para se medir dureza
- Elimina o tempo necessário para a medição de qualquer dimensão da impressão causada, pois o resultado é diretamente lido na máquina de ensaio, sendo portanto rápido e livre de erros humanos;
- Fácil execução, facilidade em detectar pequenas diferenças de durezas e pequeno tamanho da impressão;
- Ensaio Rockwell superficial é realizado em corpos de prova mais finos (delgados).



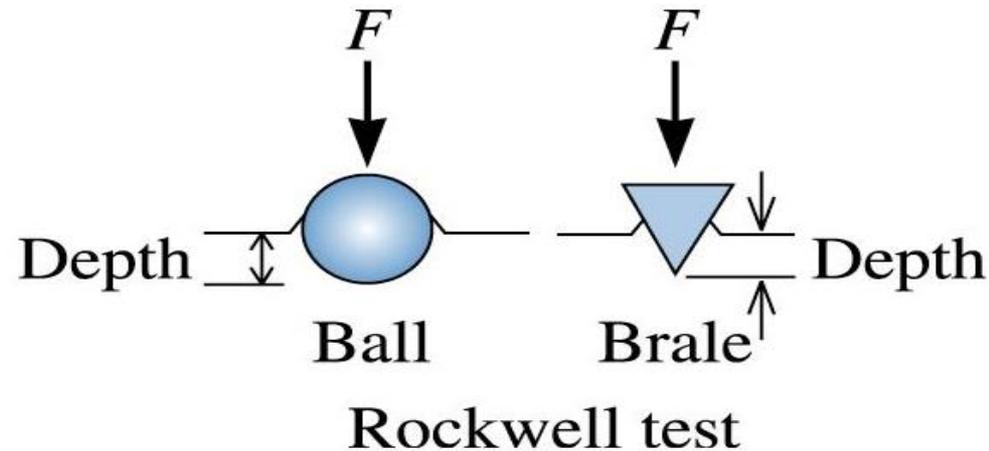


Dureza Rockwell (HR)

Teste de Dureza
Rockwell

Método de Medição Rockwell

- Índice (HR) é determinado pela diferença na profundidade de penetração de uma carga inicial (pré-carga) seguida de uma carga principal.



Penetradores do ensaio Rockwell:

- Ensaio Rockwell
 - Pré-carga = 10 kgf
 - Principal = 60, 100 e 150 kgf
- Ensaio Rockwell Superficial
 - Pré-carga = 3 kgf
 - Principal = 15, 30 e 45 kgf
- Esferas de aço endurecidas com ϕ : 1/16, 1/8, 1/4 e 1/2 pol.
- Penetradores cônicos de diamante (brale) usado para materiais mais duros

Indicações de aplicação do Ensaio de Dureza Rockwell

Escala	Endentador	Carga Maior F_1 (kgf)	E	Aplicação
A	Cone diamante 120°	50	100	Chapa de aço, metal duro, aço com endurecimento superficial
B	Esfera de aço 1/16"	90	130	Cobre, ligas de alumínio, aço de baixo carbono, ferro fundido maleável
C	Cone diamante 120°	140	100	Aços endurecidos mais usados, ferro fundido duro, titânio
D	Cone diamante 120°	90	100	Aços duros de pouca espessura, ferro perlítico maleável
E	Esfera de aço 1/16"	90	130	Ferro fundido, alumínio, ligas moles
F	Esfera de aço 1/16"	50	130	Ligas de cobre recozidas, metais moles de pouca espessura
G	Esfera de aço 1/16"	140	130	Bronze fosforado, cobre-berílio, ferro fundido maleável, chumbo, etc
H	Esfera de aço 1/8"	50	130	Metais moles (Al, Zn, Pb), plásticos
K	Esfera de aço 1/8"	140	130	$F = F_0 + F_1$ <p>Metais macios e outros materiais finos muito moles, inclusive plásticos.</p>
L	Esfera de aço 1/4"	50	130	
M	Esfera de aço 1/4"	90	130	
P	Esfera de aço 1/4"	140	130	
R	Esfera de aço 1/2"	140	130	
S	Esfera de aço 1/2"	90	130	
V	Esfera de aço 1/2"	140	130	

pré-carga F_0 de 10 kgf.

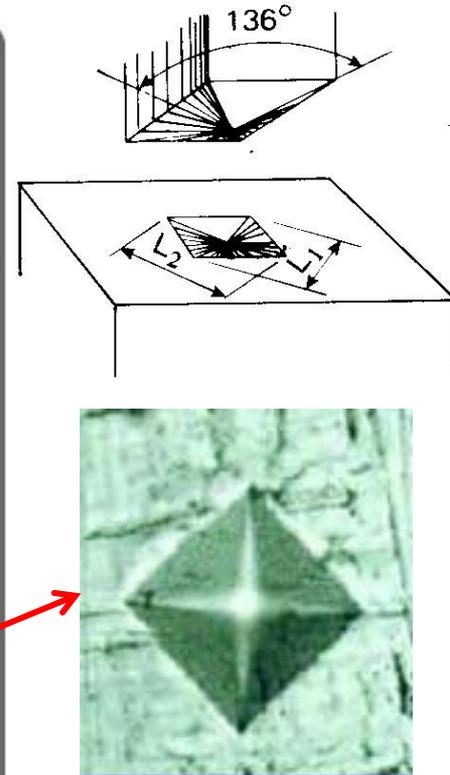
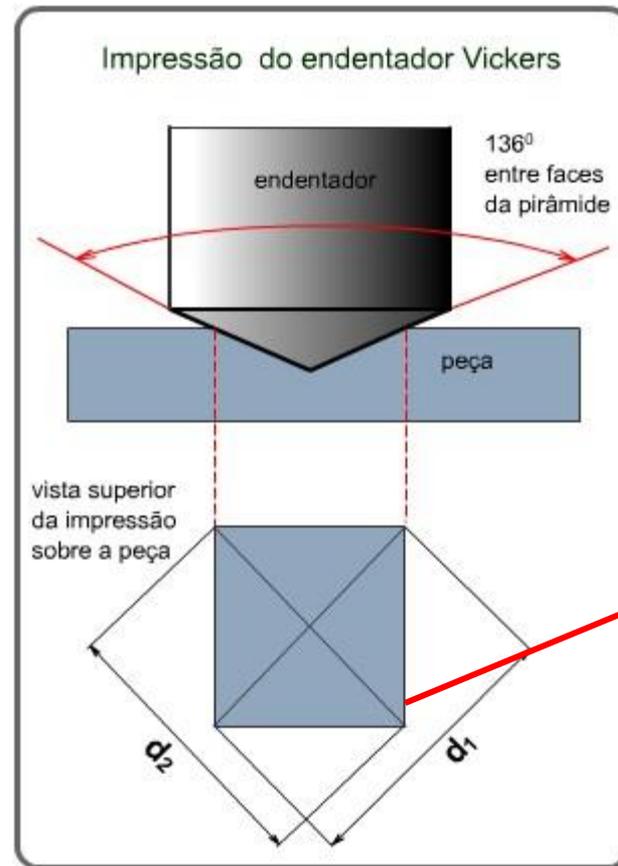
Indicações de aplicação do Ensaio de Dureza Superficial Rockwell

Escala	Tipo de Endentador	Carga Maior F_1 (kgf)	Valor de E	Aplicação
HR 15 N	Cone Diamante 120 ^o	12	100	Metal duro, aços com pouca espessura, aços com endurecimento superficial
HR 30 N	Cone Diamante 120 ^o	27	100	Aço, ferro fundido duro, ferro fund maleável, titânio, aço com endurecimento profundo, outros materiais mais duros que B100
HR 45 N	Cone Diamante 120 ^o	42	100	Aços de pouca espessura, aços endurecidos a média profundidade, ferro fundido maleável
HR 15 T	Esfera de aço 1/16"	12	100	Ligas de cobre, aços macios, ligas de alumínio, ferro fundido maleável
HR 30 T	Esfera de aço 1/16"	27	100	Ligas de cobre recozidas, chapas finas de metais macios
HR 45 T	Esfera de aço 1/16"	42	100	Bronze fosforado, cobre-berílio, ferros maleáveis.
HR 15 W	Esfera de aço 1/8"	12	100	$F = F_0 + F_1$ <p>Ferro fundido e magnésio, metais macios Alumínio, zinco, chumbo Aço, ferro fundido maleável, ferros fundidos duros</p>
HR 30 W	Esfera de aço 1/8"	27	100	
HR 45 W	Esfera de aço 1/8"	42	100	
HR 15 X	Esfera de aço 1/4"	12	100	
HR 30 X	Esfera de aço 1/4"	27	100	
HR 45 X	Esfera de aço 1/4"	42	100	
HR 15 Y	Esfera de aço 1/2"	12	100	
HR 30 Y	Esfera de aço 1/4"	27	100	
HR 45 Y	Esfera de aço 1/4"	42	100	

pré-carga F_0 de 3 kgf.

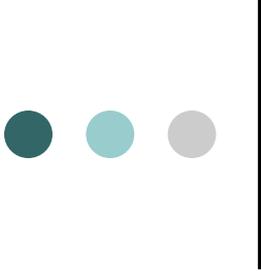
Dureza Vickers (HV) - 1925

- O método é baseado na penetração de uma pirâmide de base quadrada, com ângulo entre as faces opostas de 136° feita de diamante;
- Adequado para regiões pequenas e selecionadas do corpo de prova;
- Impressão é observada em um microscópio e medida.



$$D = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$HV = \frac{2F \operatorname{sen} \frac{136}{2}}{D^2} = \frac{1,8544F}{D^2}$$



Dureza Vickers (HV) - 1925

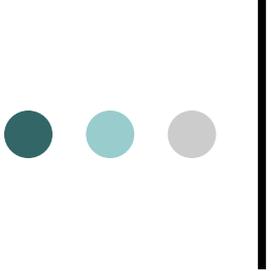
Vantagens e limitações

Vantagens:

- escala contínua de dureza;
- impressões muito pequenas que não inutilizam a peça;
- grande precisão das medidas: muito utilizada em pesquisa;
- aplicação de toda a gama de durezas encontradas nos diferentes materiais;
- deformação nula do penetrador (diamante);
- aplicação em qualquer espessura de material podendo portanto medir durezas superficiais;
- diversas formulações de conversões para outras escalas.

Limitações:

- morosidade do ensaio;
- exige preparação cuidadosa da superfície para tornar nítida a impressão;
- processo muito caro.



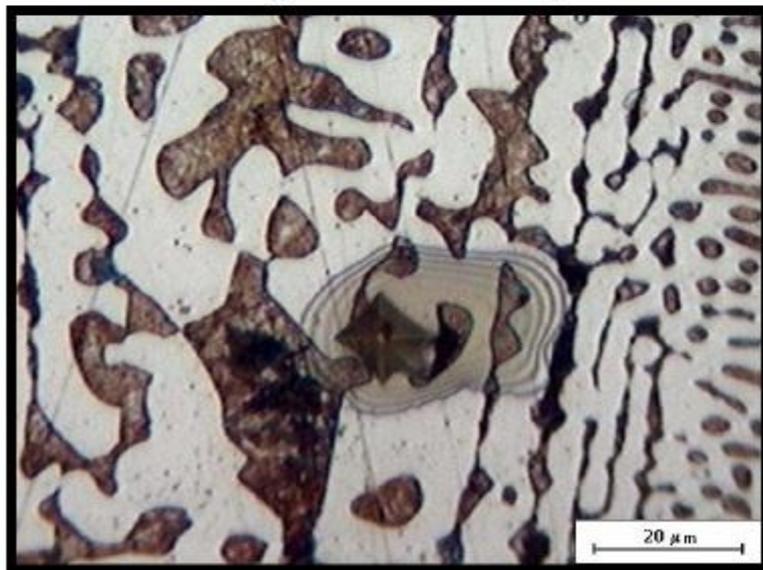
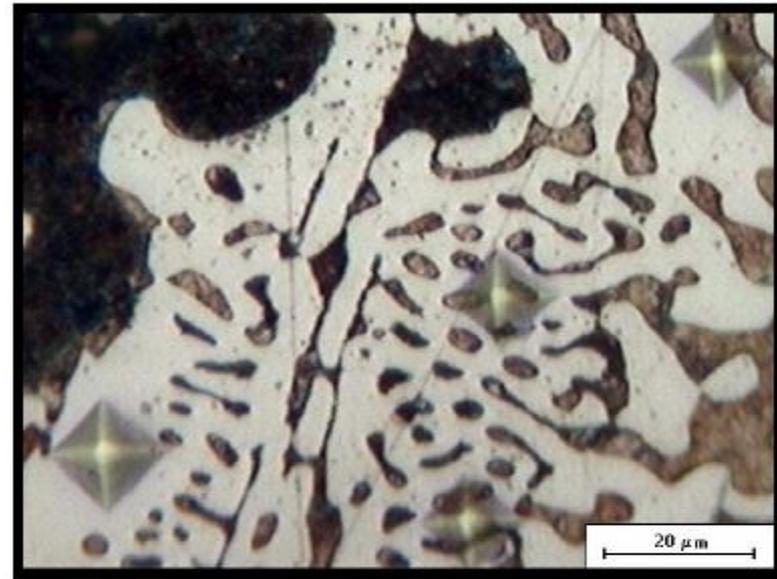
Dureza Vickers

Teste de Dureza
Vickers

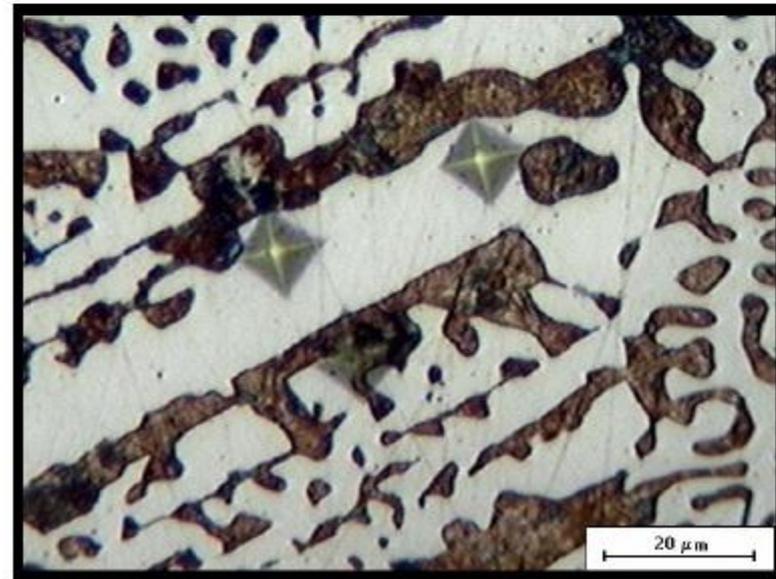
Indentação Vickers



Indentação em um fofo Cz, na região interna aos veios de grafite. Sem ataque 500x

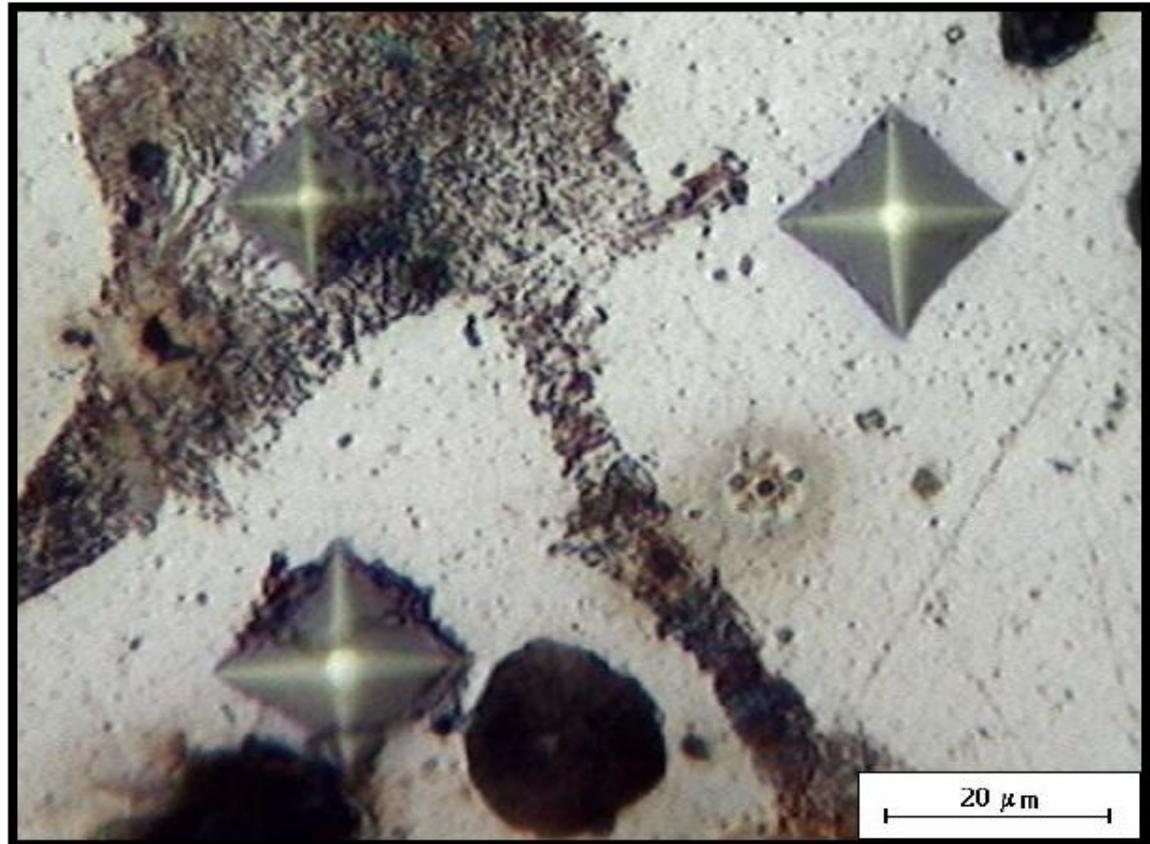


Indentação em um fofo Br Hipo, na região da Ledeburita. 951HV (Inter-Ledeburita), 750HV (fase clara - Cementita), 534HV (fase escura - Perlita). Ataque Nital, 500x



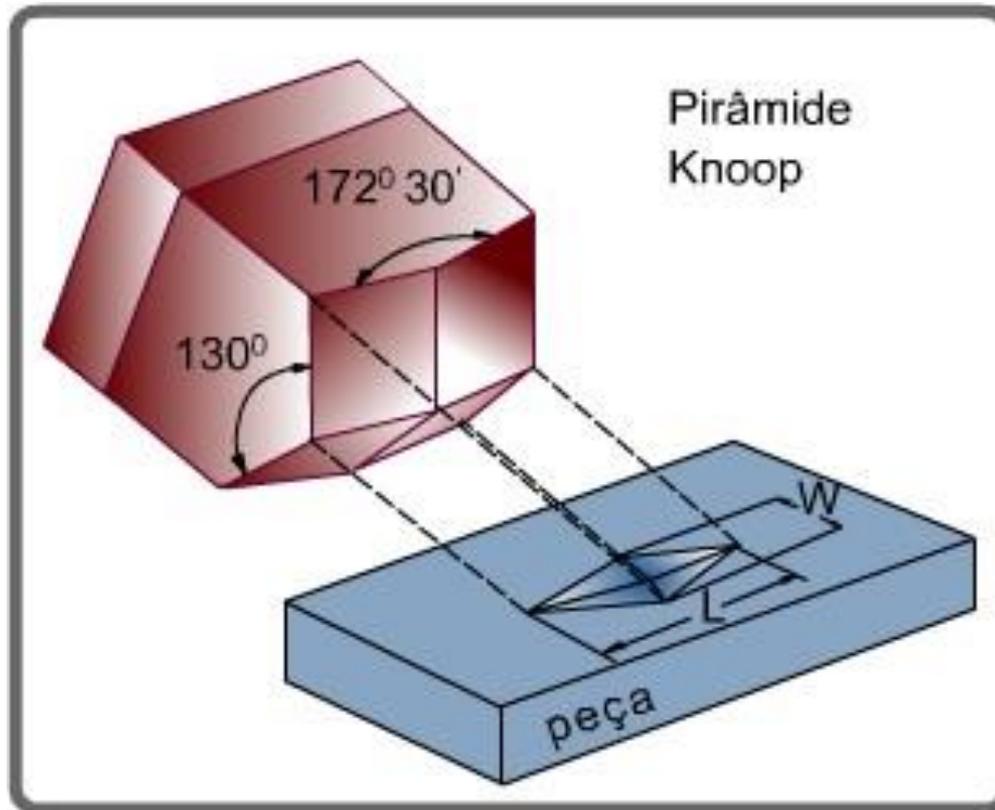
Indentação Vickers

Indentação em um
fofo Nodular,
162HV (fase clara –
Ferrita), 324HV
(fase escura –
Perlita). Ataque
Nital, 500x

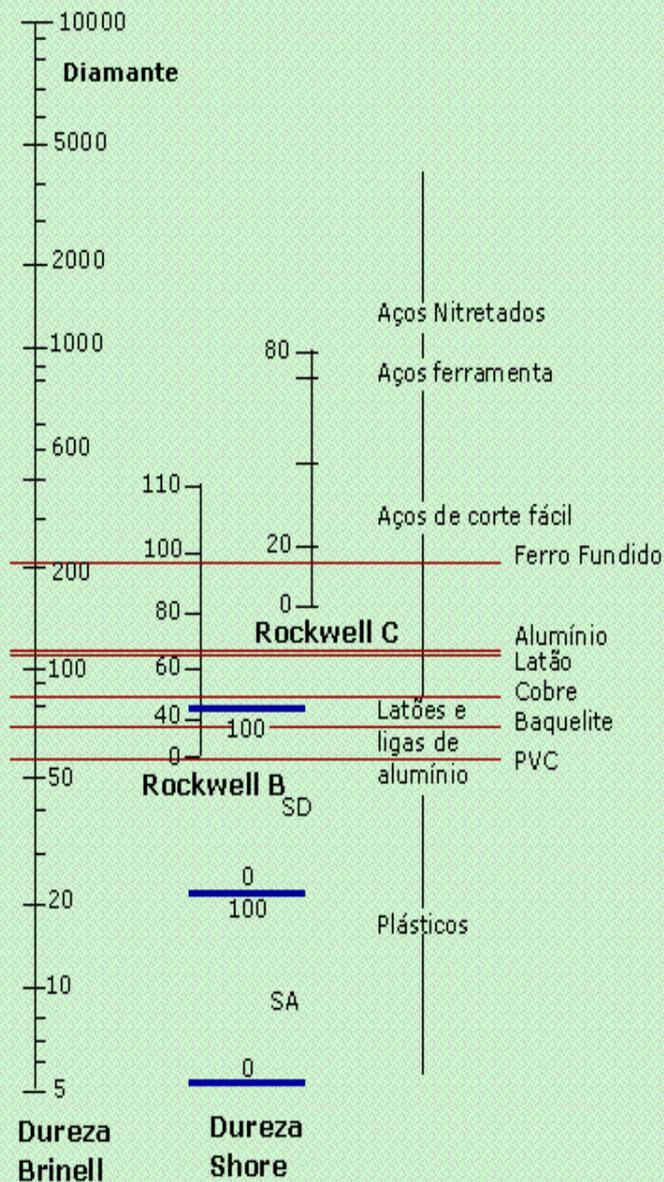


Ensaio de dureza Knoop

Microdureza Knoop: utiliza o mesmo princípio de ensaio de dureza Vickers, mas o penetrador possui geometria diferente



Comparação aproximada de escalas de dureza



Menu

Sair Vickers Shore Brinell Rockwell Resistência a Tração
Creditos

Conversão de Dureza

Norma SAE J-417 para aços

Combustol

<http://www.combustol.com.br>

Rua Estrada Turística do Jaraguá, 358 - (Km 15,5 da Via Anhanguera)
CEP: 05159-900 - São Paulo - SP Brasil
Tel: 55 (11) 3906-3000 / 3906-3052 / 3906-3002

Brinell - Esfera de Aço - 3000 kg/10mm

Dureza Brinell Esfera de aço

Carga de 3000 kg esfera de 10mm

Dureza Rockwell	Escala A	63,8
	Escala B	
	Escala C	27,1
	Escala 15N	73,4
Superficial	Escala 30N	47,8
	Escala 45N	27,9
Dureza Vickers		280
Dureza Brinell	Esfera de tungstênio	265
Dureza shore		40
Resistencia a tração	KSI	129
	Kg/mm2	90,7

Fratura

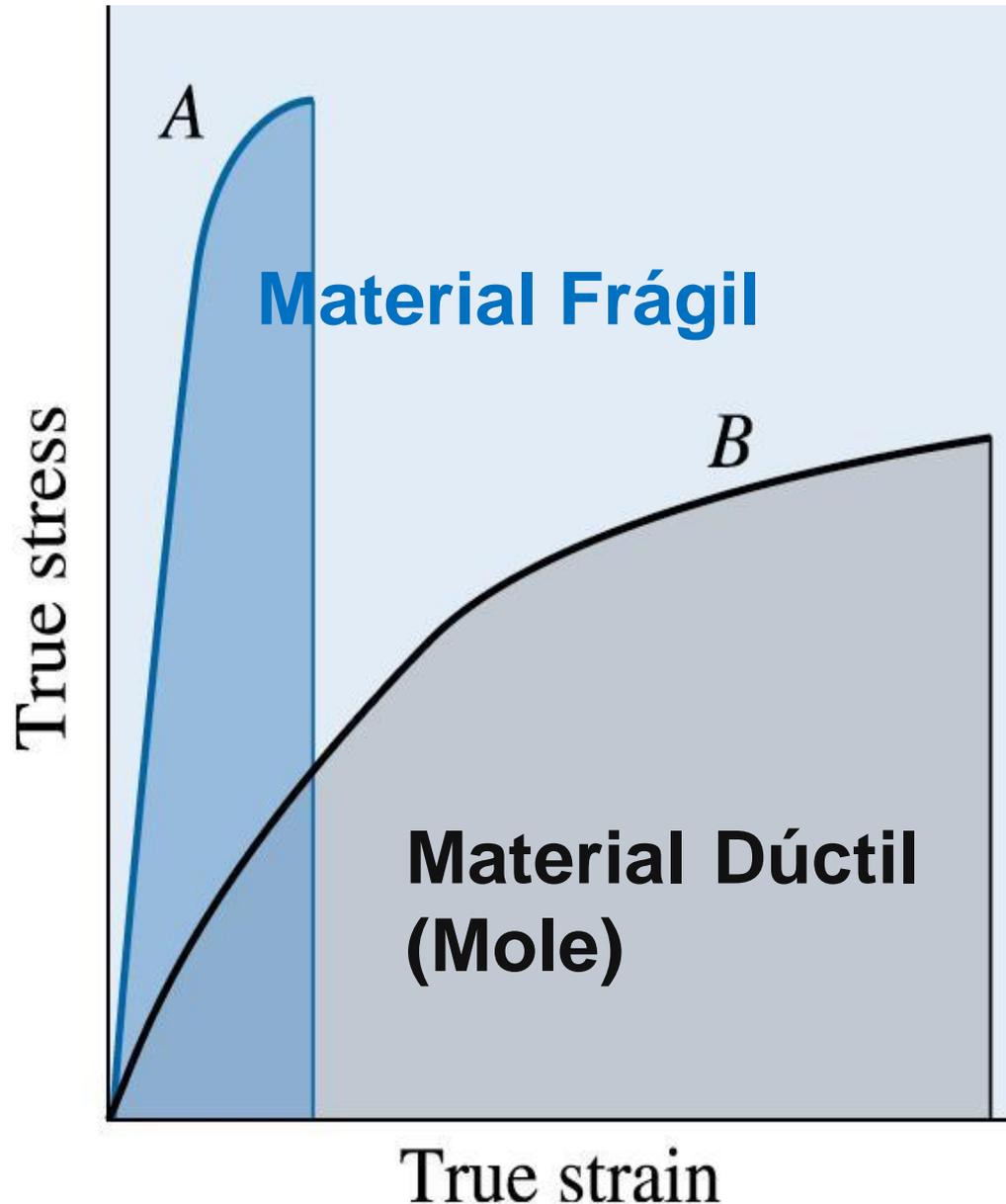
- Fratura consiste na separação de um corpo em dois em resposta a uma tensão imposta.
- São possíveis dois modos de fratura: **dúctil** e **frágil** baseado na habilidade de um material em experimentar uma deformação plástica

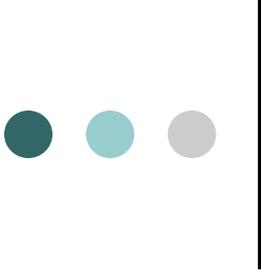


Navio petroleiro rompido catastroficamente no porto de Nova York em 1975.

Ductilidade

- Indicação de quanto uma estrutura irá se deformar antes da fratura
- Especifica o grau de deformação permissível durante operações de fabricação (extrus, Lam. etc..)
- Materiais que apresentam deformação antes da fratura inferior a 5% são chamados **frágeis**.





Fratura dúctil e frágil

O processo de fratura envolve duas etapas: formação e propagação das trincas. A modalidade da fratura é dependente do mecanismo de propagação das trincas

○ Fratura dúctil

- Extensa deformação plástica na vizinhança da trinca. Processo prossegue de maneira lenta (trinca estável)
- Presença de deformação plástica dá um alerta de que uma fratura é iminente
- Mais energia de deformação é necessária pois geralmente são mais tenazes

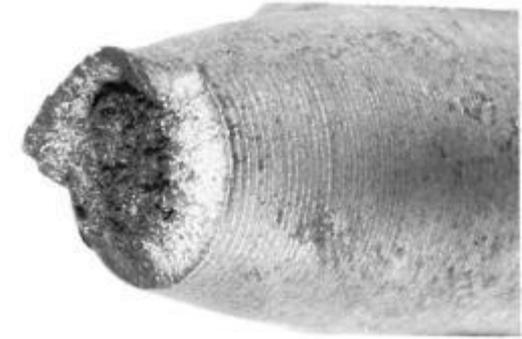
○ Fratura frágil

- Trincas se espalham de maneira extremamente rápida com muita pouca deformação plástica (trinca instável)
- Ocorre repentinamente e catastroficamente, conseqüência da espontânea e rápida propagação de trincas

Fratura Frágil ou Ductil

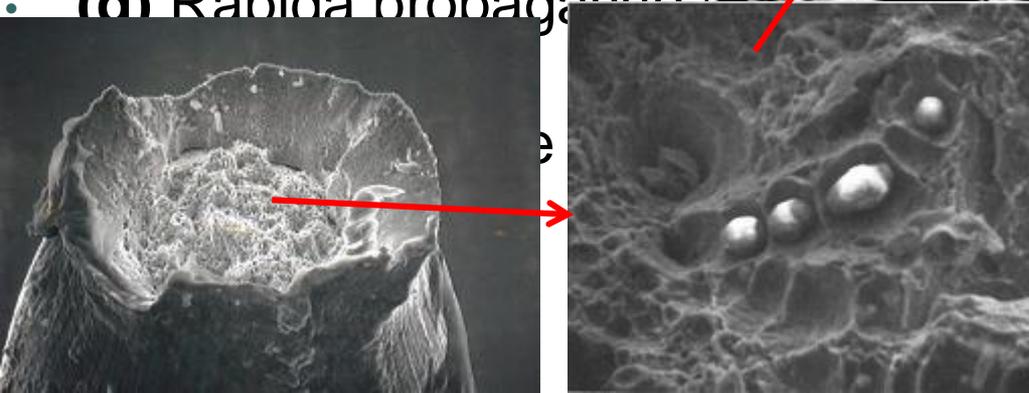
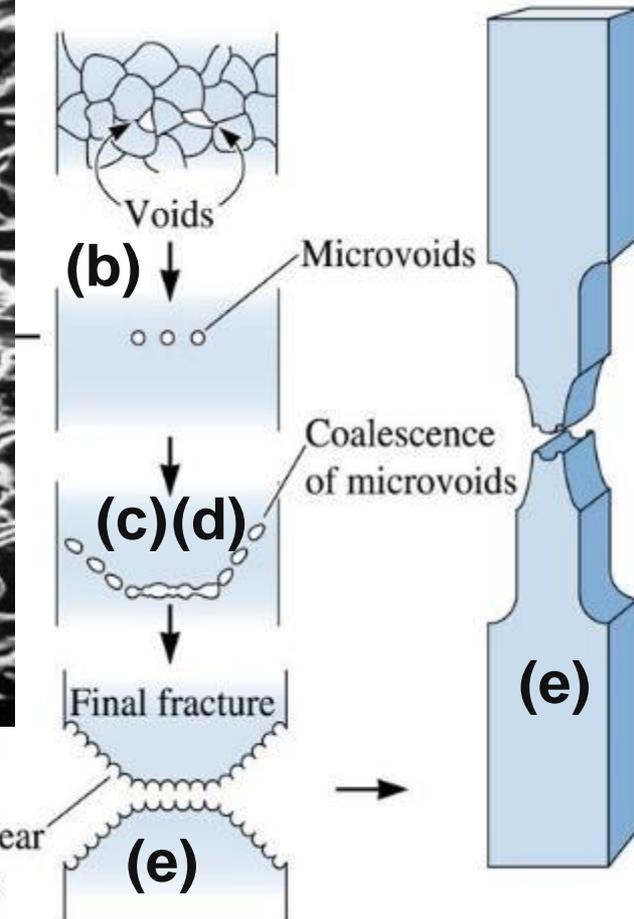
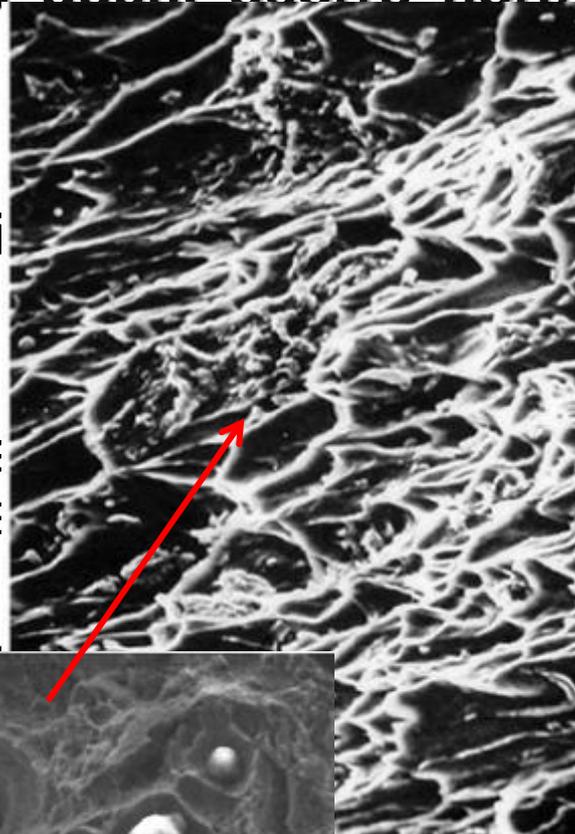


Fratura dúctil

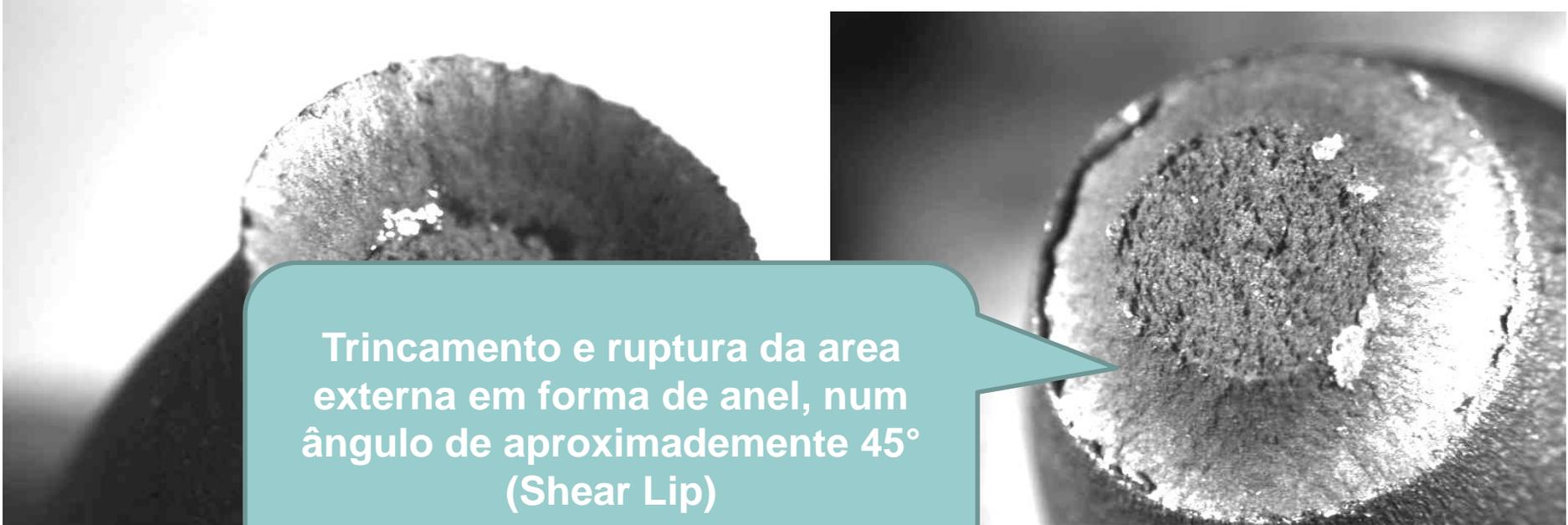


O processo de fratura dúctil ocorre normalmente em vários estágios

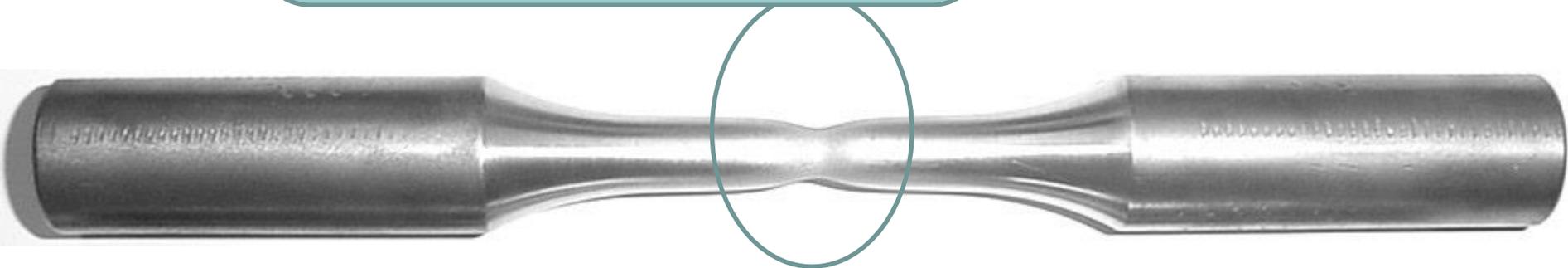
- (a) Empescoçamento inicial
- (b) Pequenas cavidades microvazios se formam
- (c) Microvazios aumentam e coalescem para formar elíptica
- (d) Rápida propagação



Fratura dúctil (Tipo Taça Cone)



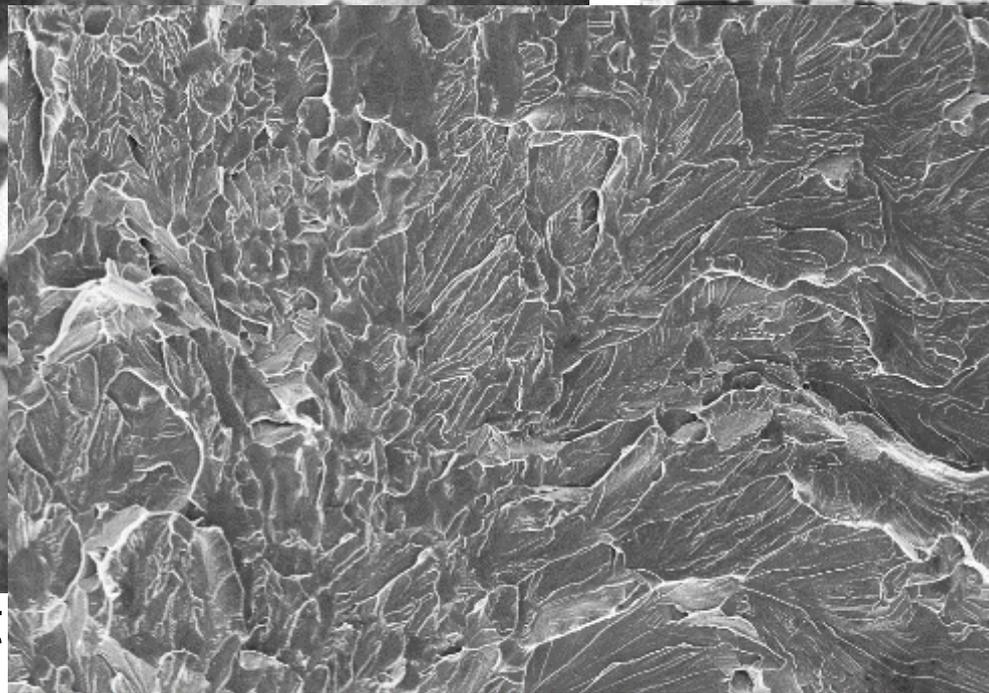
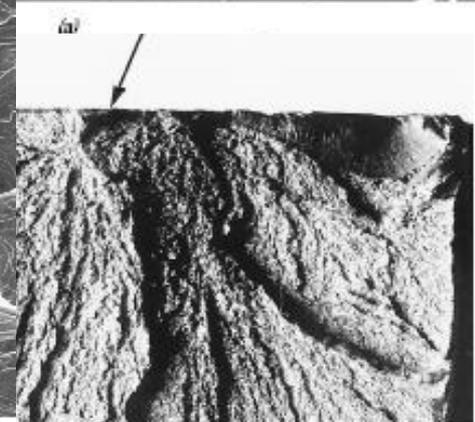
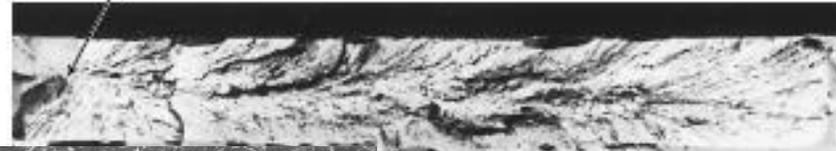
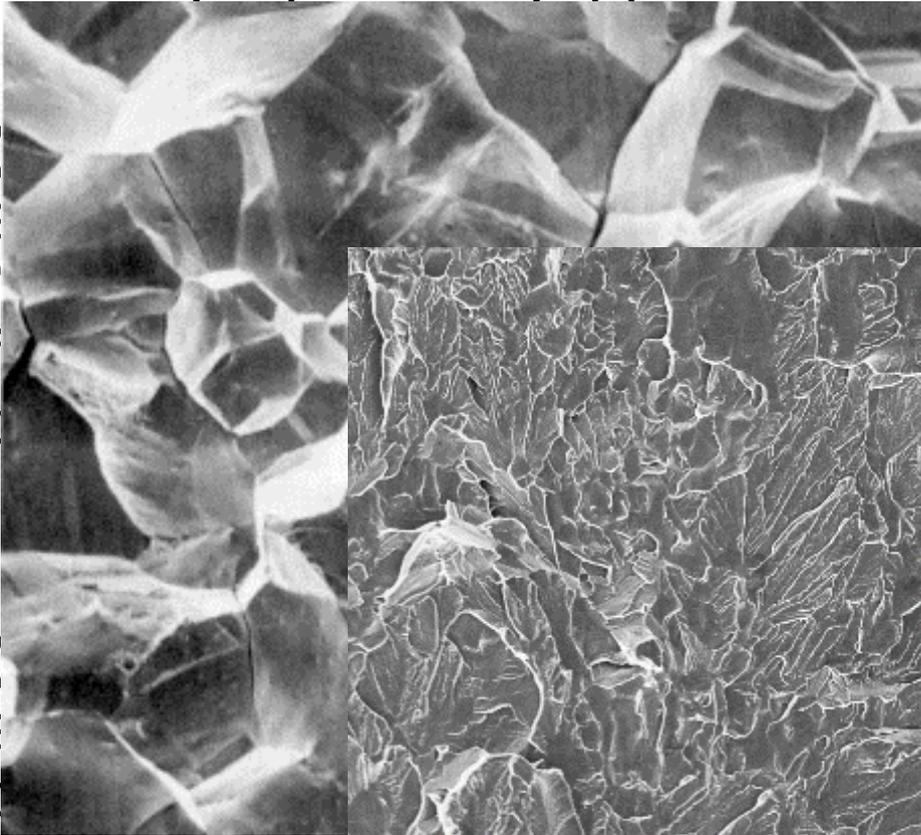
Trincamento e ruptura da area externa em forma de anel, num ângulo de aproximadamente 45° (Shear Lip)



Fratura frágil

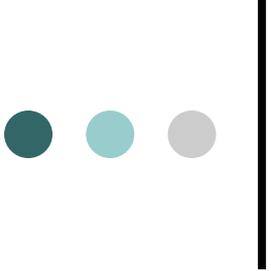


Fratura frágil ocorre sem qualquer deformação apreciável e formação de trincas



IQSC EHT=20.00 kV WD= 22 mm Mag= 500 X Detector= SE1
10µm Photo No. 7 25-Apr-2006

origem da t
leque



Ensaio de Impacto

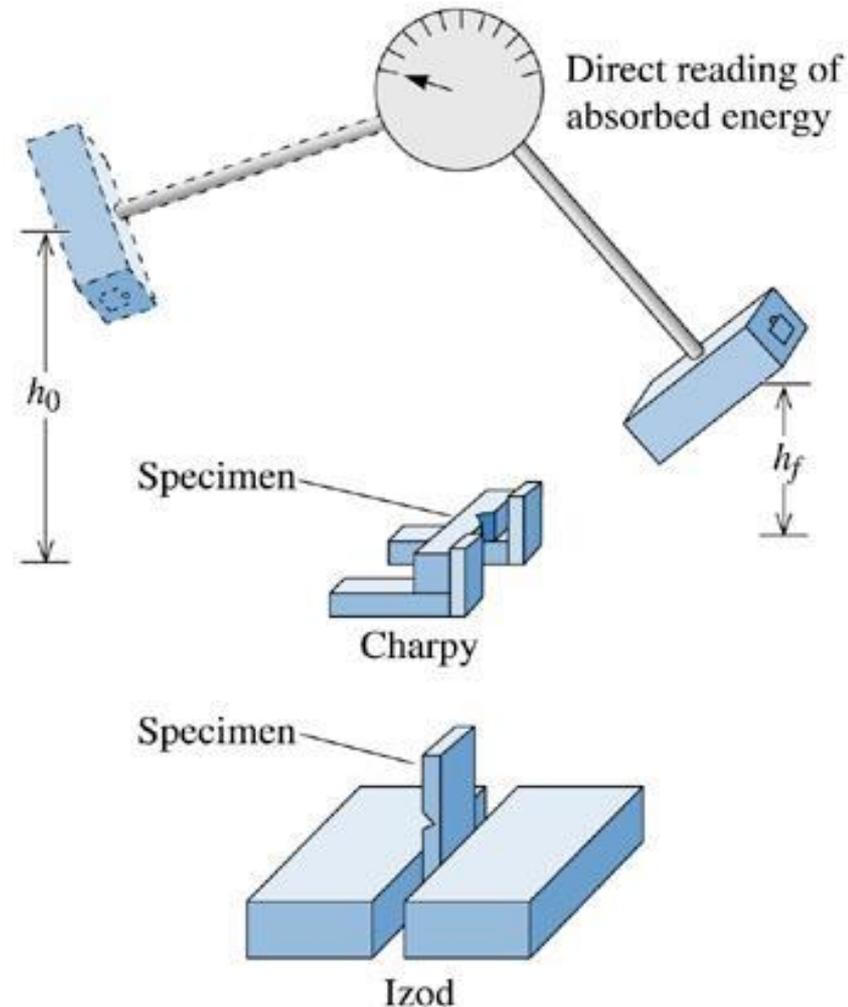
O ensaio de impacto, pela sua facilidade de ensaio e baixo custo de confecção dos CPs fez dele um dos primeiros e mais empregados para o estudo de fratura frágil nos metais. Pode-se determinar a tendência de um material a se comportar de maneira frágil.

As condições escolhidas para o ensaio são as mais severas em relação ao potencial de ocorrência de uma fratura (agravam tenac)

- Deformação a uma temperatura relativamente baixa
- Elevada taxa de deformação
- Estado de tensão triaxial (introduzido pela presença de um entalhe - tendência a fratura frágil)

Técnicas de Ensaio de Impacto: Charpy e Izod

- As técnicas Charpy e Izod são utilizadas para medir a energia de impacto.
- O corpo de prova possui o formato de uma seção quadrada com um entalhe em “V”
- Diferença entre as técnicas Charpy e Izod é como o corpo de prova é sustentado
- A energia absorvida é medida através da diferença entre h e h' e corresponde à energia de impacto



Ensaio de Impacto

Para os ensaios com o pêndulo (Charpy e Izod) a E_{pot} da elevação do martelo se transforma em E_{cin} na descida. Parte desta energia é transferida para o CP, provocando sua ruptura.

$$E_{abs} = WR (\cos \beta - \cos \alpha)$$

E_{abs} é a energia absorvida pelo CP

Esquema do Pêndulo de Impacto

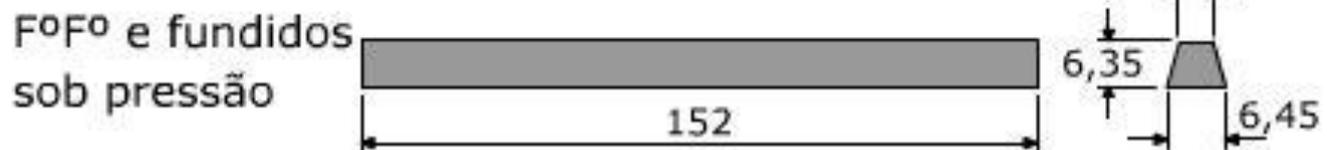
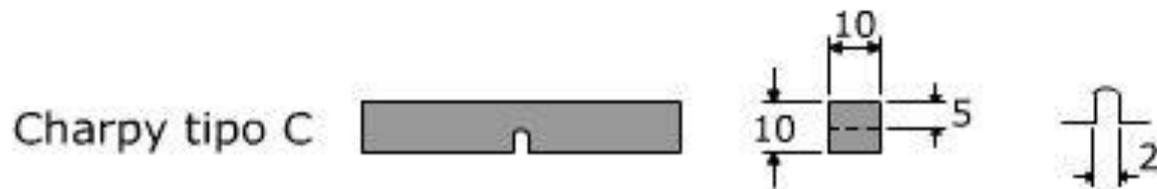
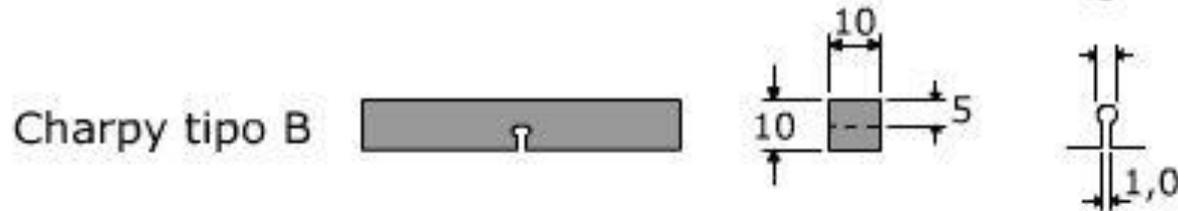
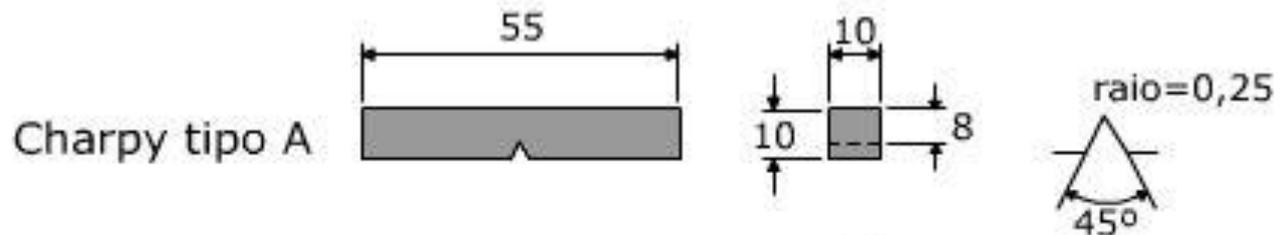


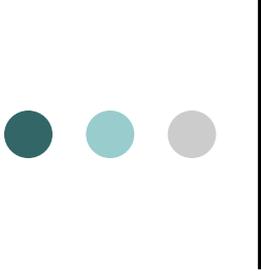
Ensaio Impacto Charpy

Pêndulo e Configuração do
Teste Charpy

Principais Configuração CPs Charpy

Todas as dimensões em mm





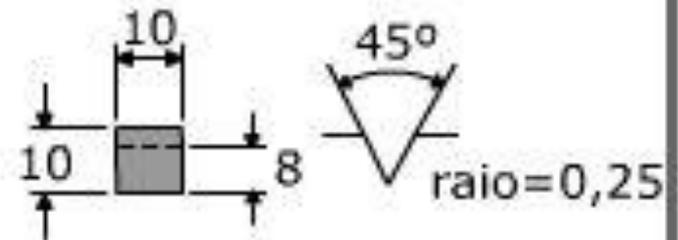
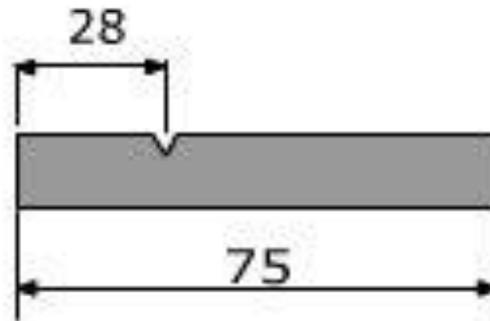
Ensaio Impacto IZOD

Posição de impacto sobre o corpo de prova
Izod

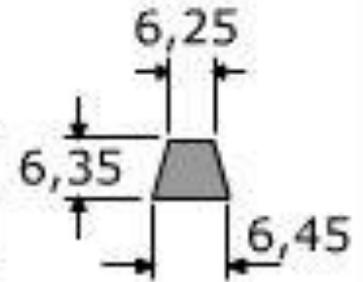
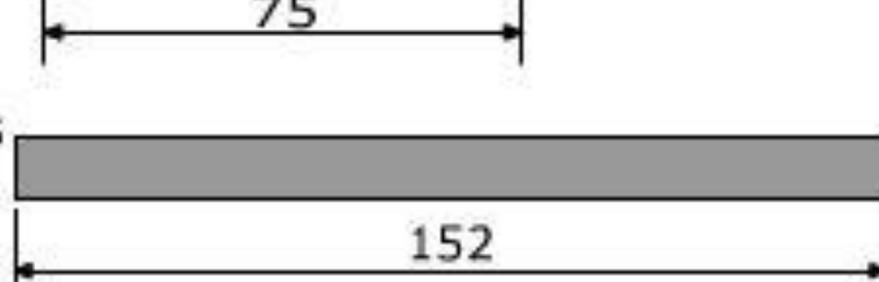
Principais Configuração CPs IZOD

Todas as dimensões em mm

Izod (tipo D)

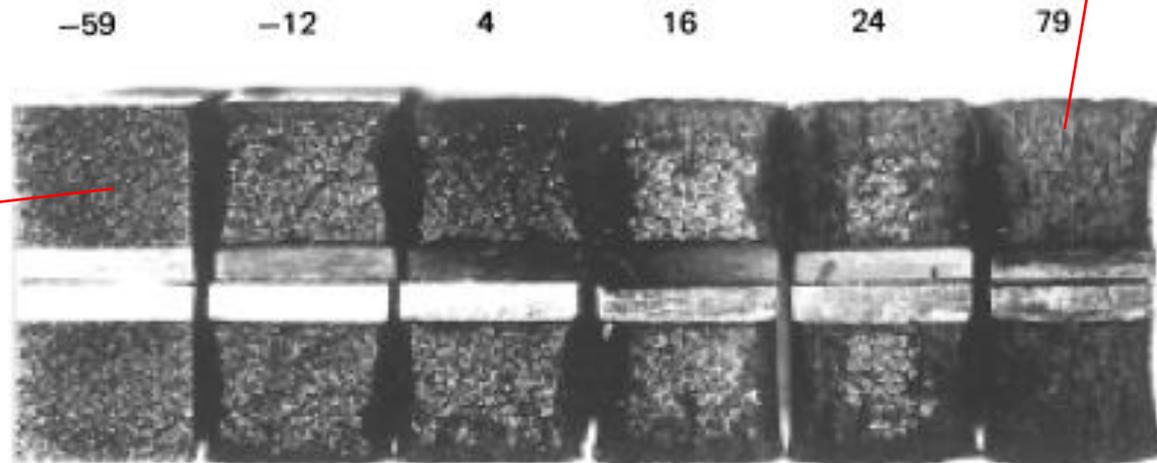
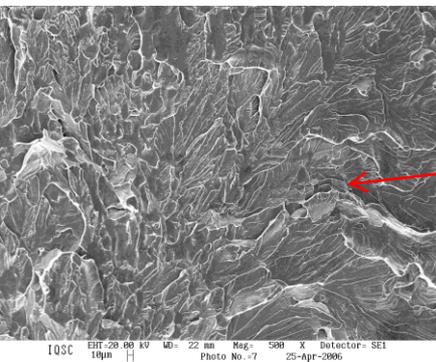


F^oF^o e fundidos
sob pressão



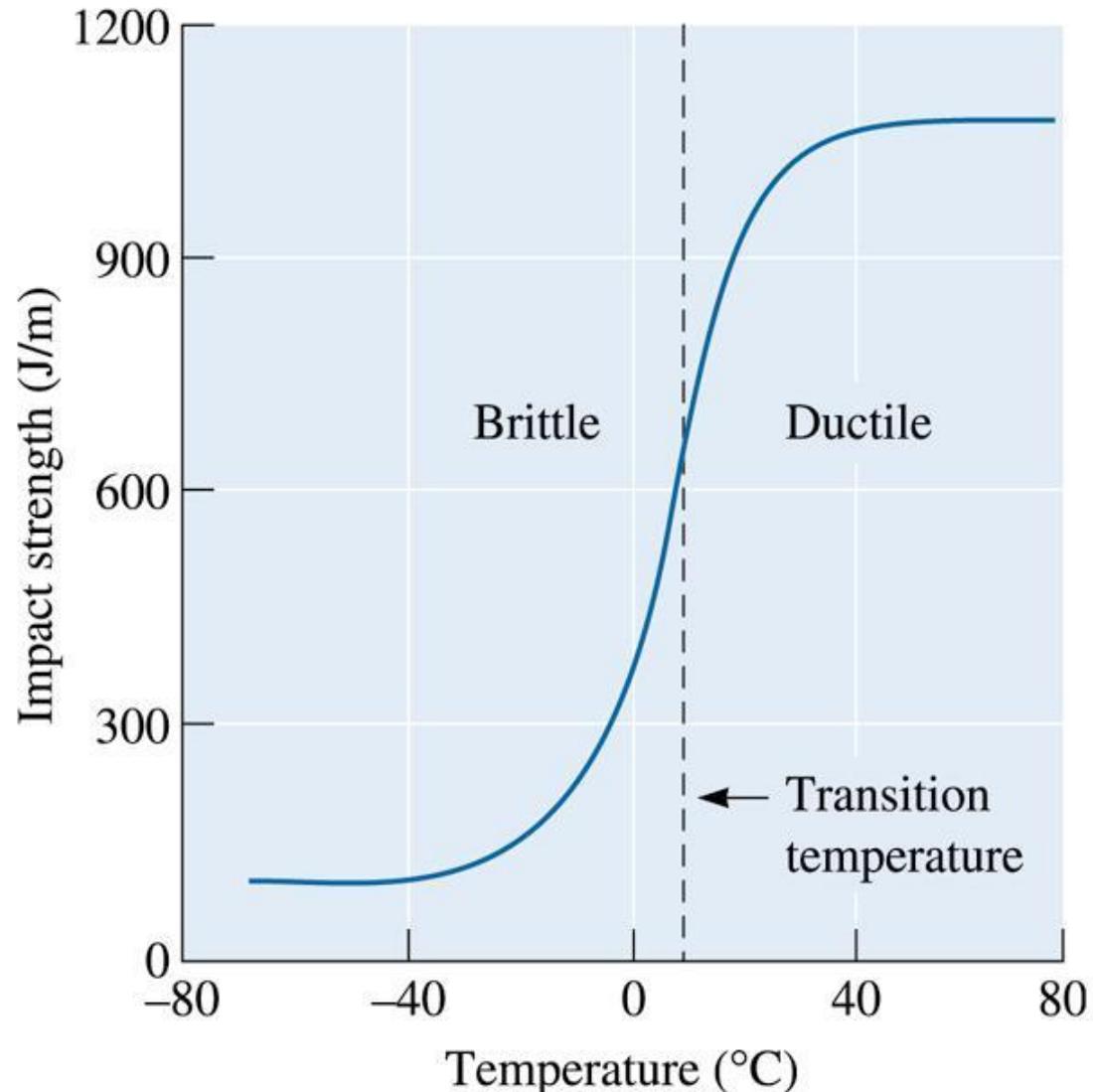
Transição Dúctil - Frágil

- ✓ Uma das principais funções dos ensaios de impacto é determinar se um material apresenta transição dúctil – frágil com a diminuição da temperatura.
- ✓ Uma análise da superfície de fratura de O diferentes temperaturas indicam a transição % de fratura dúctil e frágil em cada temperatura



Transição Dúctil - Frágil

Em um aço em temperaturas elevadas a energia é relativamente grande e a medida que a temperatura é reduzida, a energia de impacto cai para um valor constante, porém pequeno, i.é, o modo de fratura é frágil.



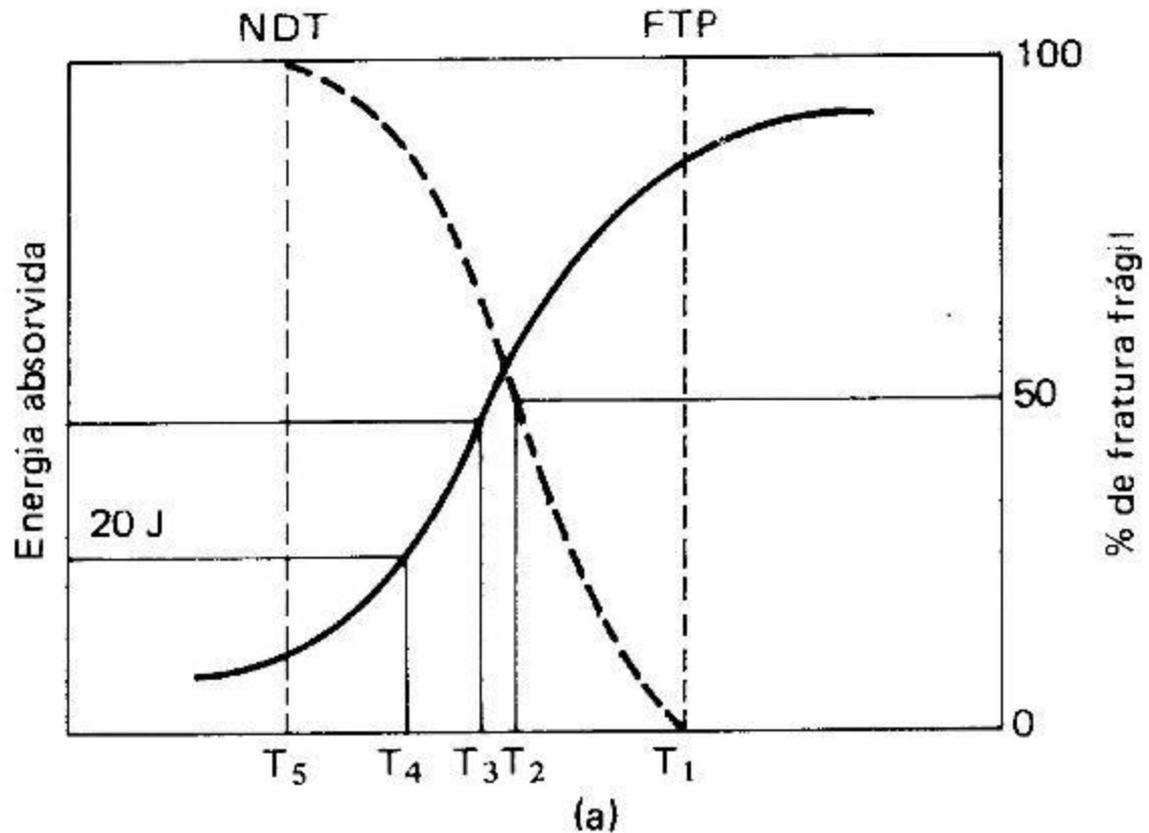
Desta forma o ensaio de impacto é mais significativo quando realizado em um intervalo de temperatura, de maneira que pode ser determinado a temperatura de transição quando a fratura passa de dútil para frágil, como observado na figura. Pode ser adotado pelo menos cinco critérios para a temperatura de transição.

➤ **A temperatura de transição é sensível à composição e à microestrutura da liga**

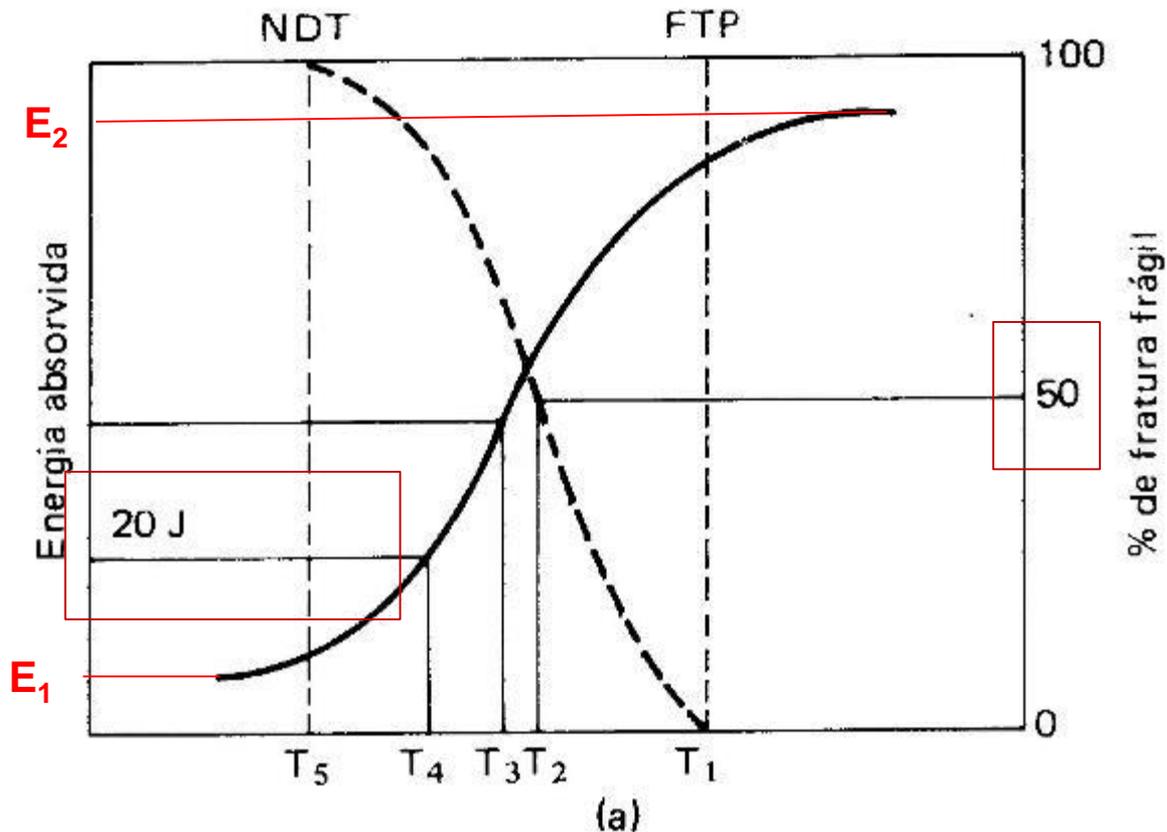
• ↓ **Tamanho de grão**

• ↓ **Temperatura de transição**

• ↓ **Teor de carbono**
↓ **Temperatura de transição**



Transição Dúctil - Frágil



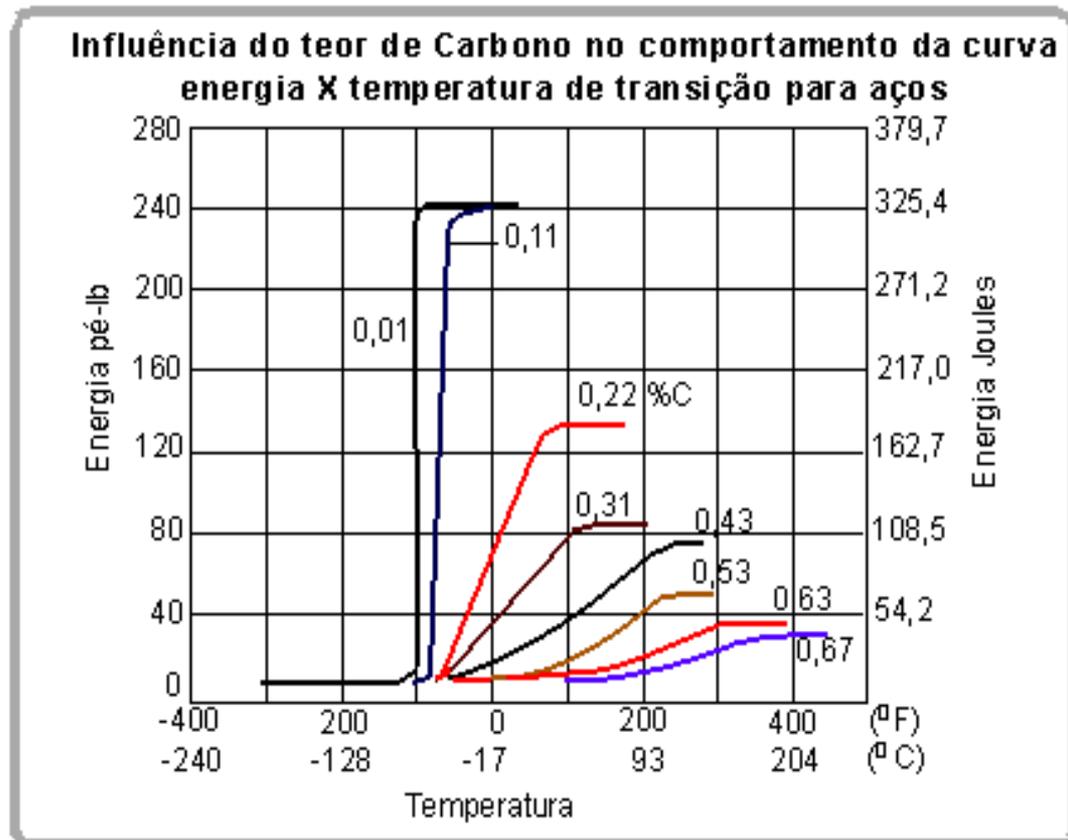
Temperatura de transição (Média das energias)

$$Trans = \frac{E_1 + E_2}{2} + E_1$$

Transição Dúctil - Frágil

- Materiais que apresentam esse comportamento devem ser usados somente em temperaturas acima da temperatura de transição para evitar fraturas frágeis catastróficas

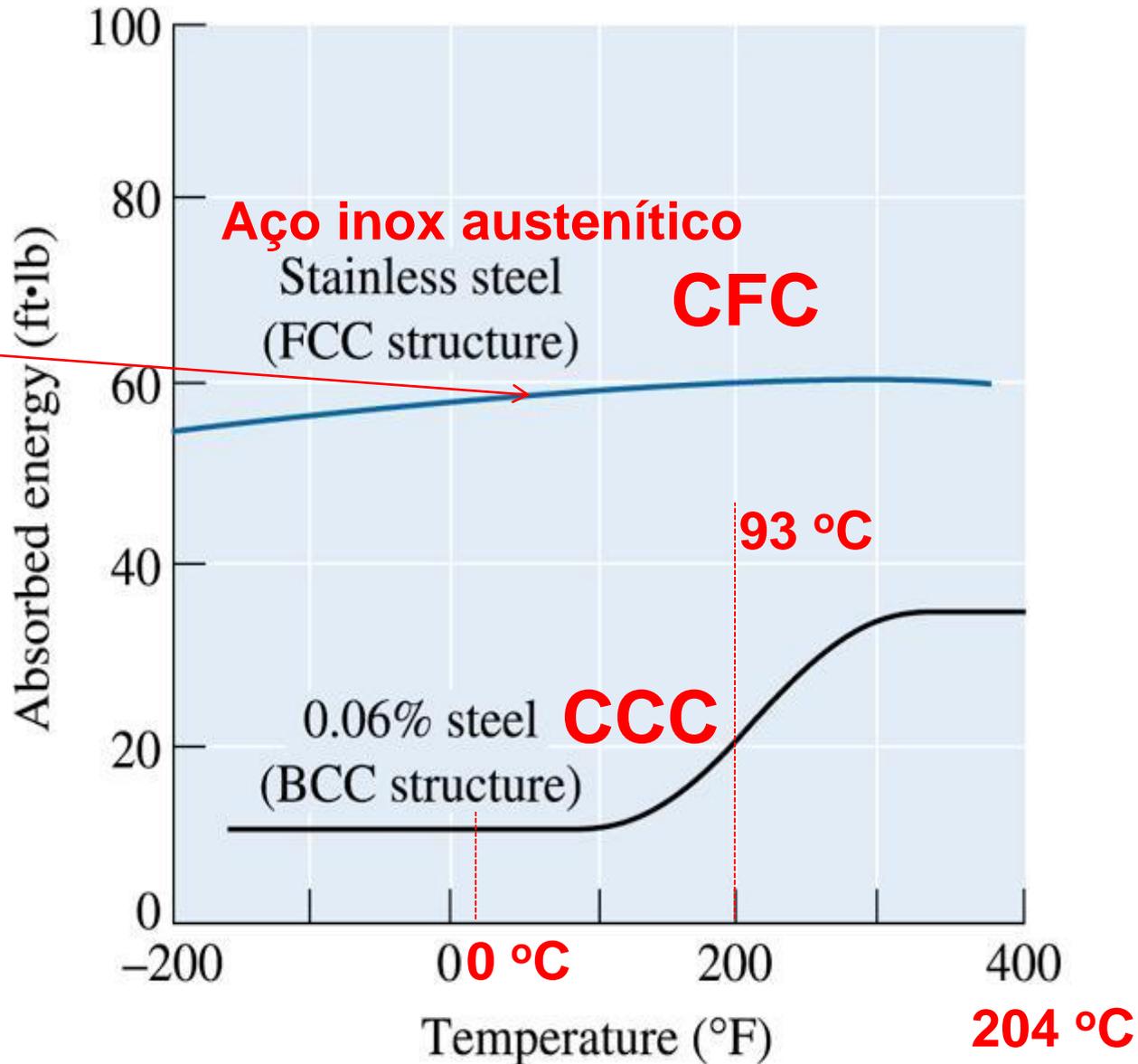
- A temperatura de transição é sensível à composição e à microestrutura da liga
- ↓ Tamanho de grão
- ↓ Temperatura de transição
- ↓ Teor de carbono
- ↓ Temperatura de transição

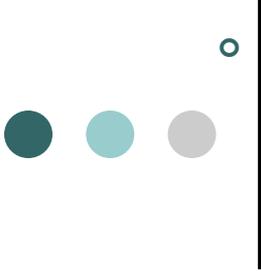


Transição Dúctil - Frágil

Não apresenta
transição
dúctil/frágil

Recipiente inox
nitrogênio líquido
(-197 °C) possui
uma Estrutura
CFC





- **Principais Normas para o teste**

ABNT

NBRNM 281-1 (11/2003) Materiais metálicos - Parte 1: Ensaio de impacto por pêndulo Charpy

NBR NM281-2 (11/2003) Materiais metálicos - Parte 2: Calibração de máquinas de ensaios de impacto por pêndulo Charpy

NBR6157 (12/1988) Materiais metálicos - Determinação da resistência ao impacto em corpos-de-prova entalhados simplesmente apoiados

Outras**ASTM**

E23-05 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials (2005) (cobre Charpy e Izod)

F2231-02e1 Standard Test Method for CHARPY Impact Test on Thin Specimens of Polyethylene Used in Pressurized Pipes (2002)

ISO

ISO 148-1, Metallic materials - Charpy pendulum impact test - Part 1: Test method (rev. 2006)

ISO 148-3, Metallic materials - Charpy pendulum impact test - Part 3: Preparation and characterization of Charpy V reference test pieces for verification of test machines (1998)

ISO/TR 7705, Guidelines for specifying Charpy V-notch impact prescriptions in steel specifications (1999)

ISO 5754, Sintered metal materials, excluding hardmetals; Unnotched impact test piece (1978)

DIN

DIN 50115, Notched bar impact testing of metallic materials using test pieces other than ISO test pieces (1991)

DIN 51222, Materials testing machines - Impact test - Particular requirements on pendulum impact testing machines with a capacity of nominal energy ≤ 50 J and verification (1995)

DIN EN 10045-1, Charpy impact test on metallic materials; part 1: test method (1991); versão alemã da EN10045-1:1990

DIN EN 10045-2,

Metallic materials; Charpy impact test; part 2: verification of the testing machine (pendulum impact) (1993); versão alemã da EN 10045-2:1992

DIN EN ISO 14556, Steel - Charpy V-notch pendulum impact test - Instrumented test method (ISO 14556:2000); versão alemã da EN ISO 14556:2000 (2000)

DIN ISO 5754, Sintered metal materials, excluding hardmetals; unnotched impact test piece; igual a ISO 5754:1978

Estudo de caso: TITANIC

13/04/1912



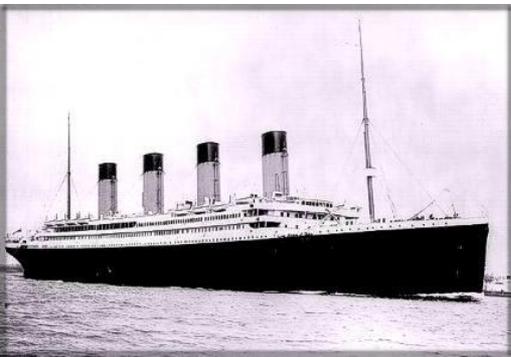
Survivor: *William Dean*

R.M.S. TITANIC *Departure from Queenstown*

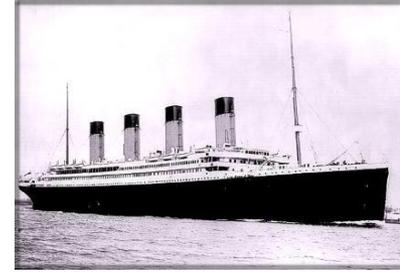
Colin Verity B.S.M.A.

Obtenção das amostras

- Em 1996, pesquisadores utilizando submarinos robôs trouxeram pedaços de aço do casco do TITANIC para análise metalúrgica.



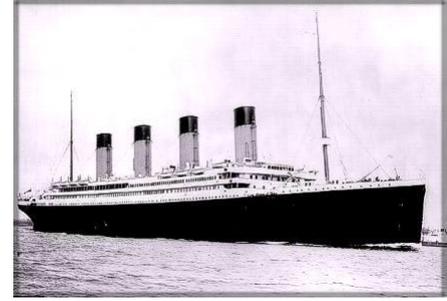
Composição Química



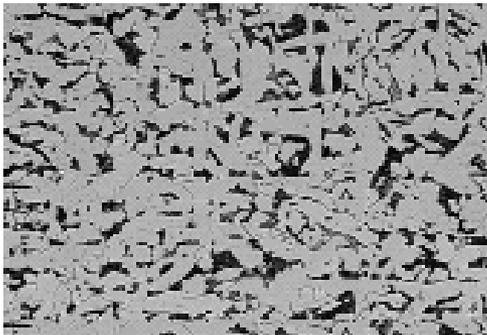
- No aço do casco do TITANIC constata-se teores elevados de P, S que associados ao baixo teor de Mn (baixa relação Mn/S) são responsáveis pela maior tendência ao comportamento frágil em baixas temperaturas .

Composição do aço do <u>Titanic</u> e de aço ASTM A36									
	C	Mn	P	S	Si	Cu	O	N	<u>MnS:Ratio</u>
<u>Titanic</u> (*)	0,21	0,47	0,045	0,069	0,017	0,024	0,013	0,0035	6,8:1
<u>ASTM</u> <u>A36</u>	0,20	0,55	0,012	0,037	0,007	0,01	0,079	0,0032	14,9:1
(*) amostra extraída da placa do casco									

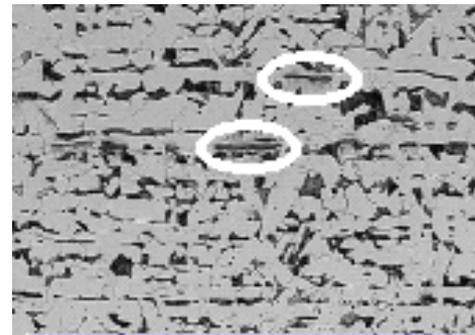
Microestrutura



- Através de análise metalográfica convencional pode-se notar severo bandeamento, principalmente na seção longitudinal.
- Na seção longitudinal constata-se também grandes quantidades de partículas de sulfeto de manganês (dentro das elipses).

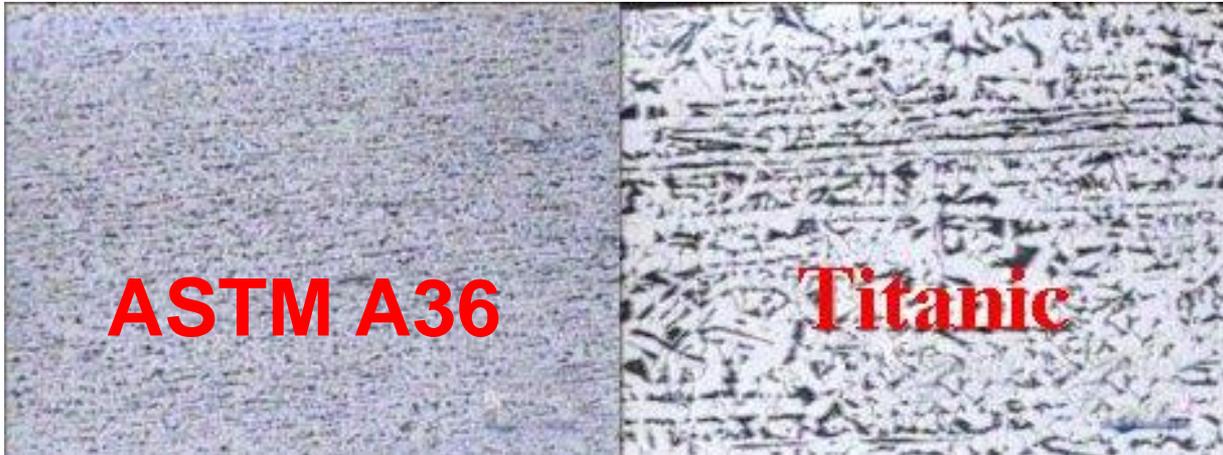


Seção transversal

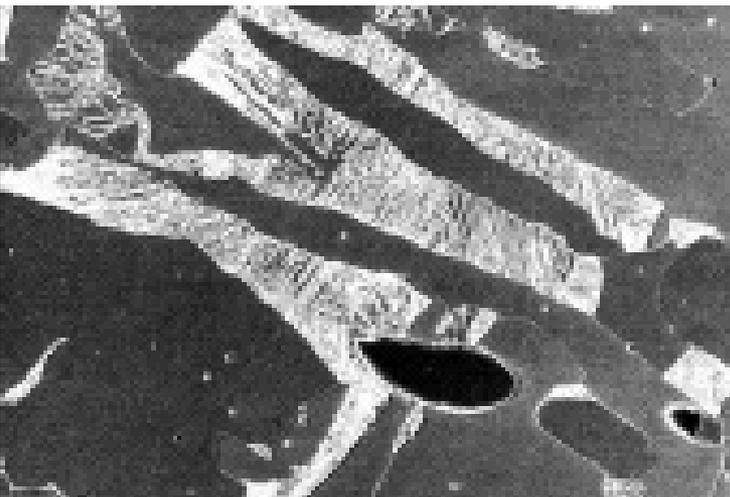


Seção longitudinal

Microestrutura (A36 x Titanic)



Na micrografia pode-se notar o tamanho de grão bem maior no aço do TITANIC em comparação ao aço A36.



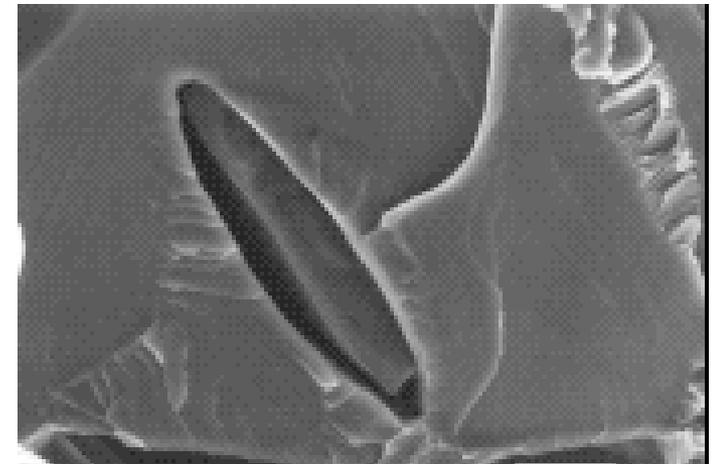
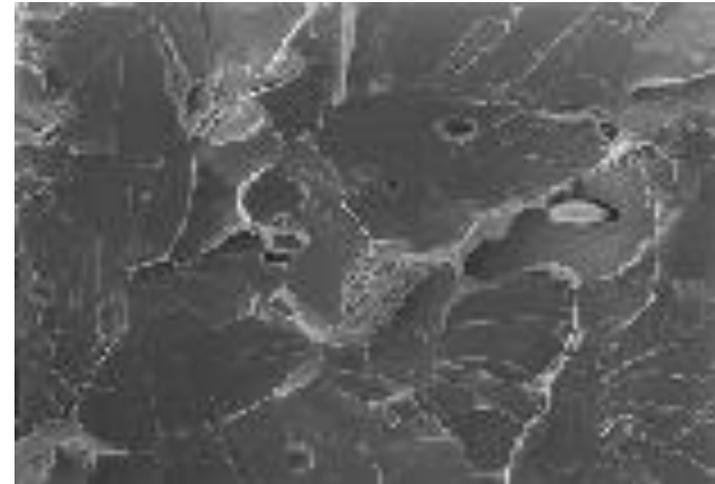
- Através da análise com um microscópio eletrônico de varredura pode-se observar partículas de MnS (estruturas elípticas)

Ensaio de impacto: Charpy

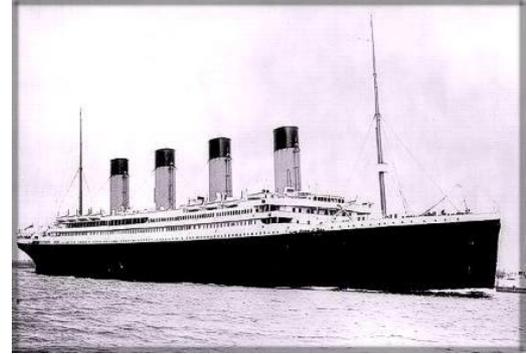
- Realizou-se ensaios Charpy em uma faixa de temperaturas entre -55°C e 179°C em três séries de corpos de prova de dimensões padrão.

➤ A figura ilustra uma superfície Charpy recém fraturada a 0°C . Planos de clivagem na ferrita são bastante evidentes

➤ A figura ilustra uma região da superfície contendo MnS

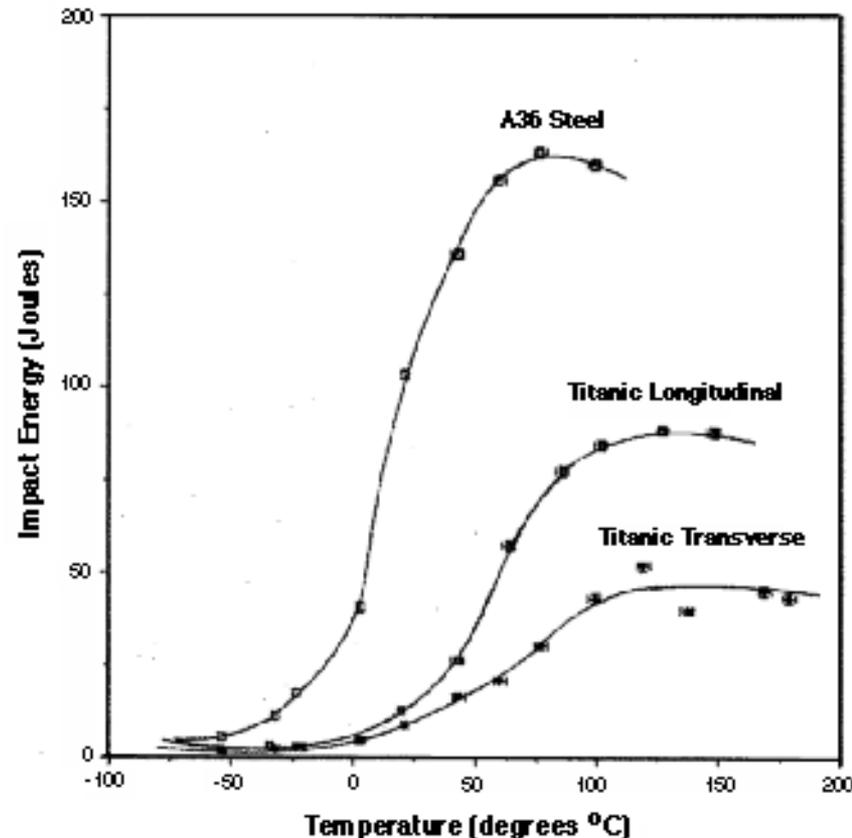


Ensaio de impacto: Charpy



Os resultados de impacto das três séries de CPs :

- Em altas temperaturas, as amostras longitudinais do casco tem melhor propriedade que as transversais.
- Em baixa temperatura, as amostras longitudinais e transversais tem a mesma energia de impacto.
- A temperatura de transição dúctil frágil para energia de impacto de 20J é de -27°C (ASTM A 36), 32°C (casco longitudinal) e 56°C (casco transversal).
- Durante a colisão, a temperatura da água do mar era de -2°C



Conclusão

Fatores que contribuíram para o naufrágio do TITANIC:

- Detecção tardia da presença de iceberg (sem tempo para manobras evasivas);
- Velocidade de navegação elevada;
- Ângulo de impacto que propiciou aberturas em vários compartimentos;
- Aço com grande tendência ao comportamento frágil (porém o melhor da época).

