



# Tratamento Térmico e Materiais

**ISOFLAMA** Indústria e Comércio de  
Equipamentos Ltda

João Carmo Vendramim

ISOFLAMA  
tratamento térmico

# João Carmo Vendramim

- Engenheiro Metalurgista, MSc
- Mestrado Fem-Unicamp – Depto.Enga.Materiais
- Projeto Fapesp “Pipe” – Instituto de Física-Unicamp / Eaton Transmission – Co-coordenador – 2000-2002
- Bolsista Rhae CNPq – projeto pesquisa de nitretação para componentes da caixa de transmissão automotiva
- 29 contribuições técnicas para Congressos e Seminários de Tratamento Térmico e Engenharia de Superfície
- 03 contribuições técnicas publicadas em revistas: ABM e Metal-Mecânica
- Prêmio ABM – contribuição técnica engenharia de superficie - 2004

ISOFLAMA  
tratamento térmico

# O que é Aço?

- *“É uma liga ferrosa passível de deformação plástica que, em geral, apresenta teor de carbono entre 0,008% e 2,0% na sua forma combinada e, ou, dissolvida e que pode conter elementos de liga adicionados, ou residuais”*

NBR 6215, outubro de 1985

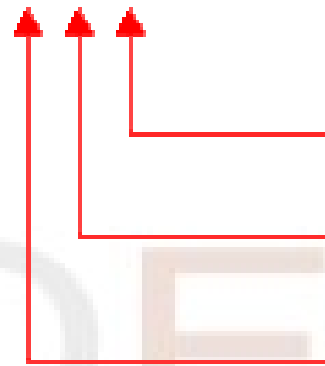
- [http://marwaltt.com.br/fr\\_definicoes.htm](http://marwaltt.com.br/fr_definicoes.htm)

ISOFLAMA  
tratamento térmico

# Classificação dos Aços

- SAE (Society Automotive Engineering)
- AISI (American Institute Steel and Iron)

**SAE 1040**



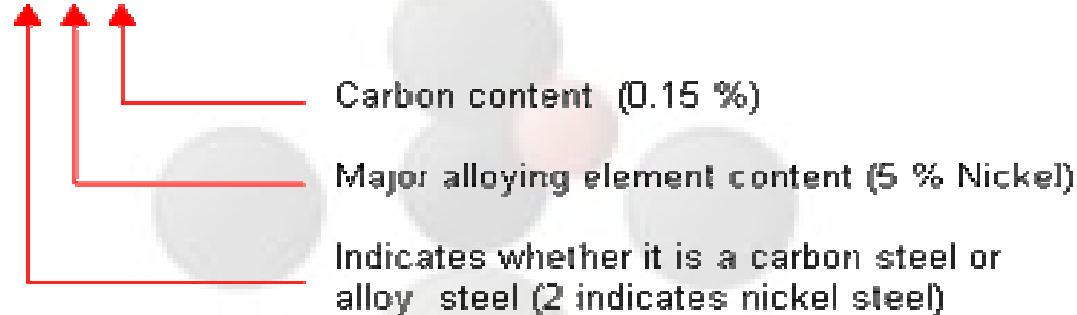
Carbon content (0.40 %)

Modification in the alloys (none) plain carbon

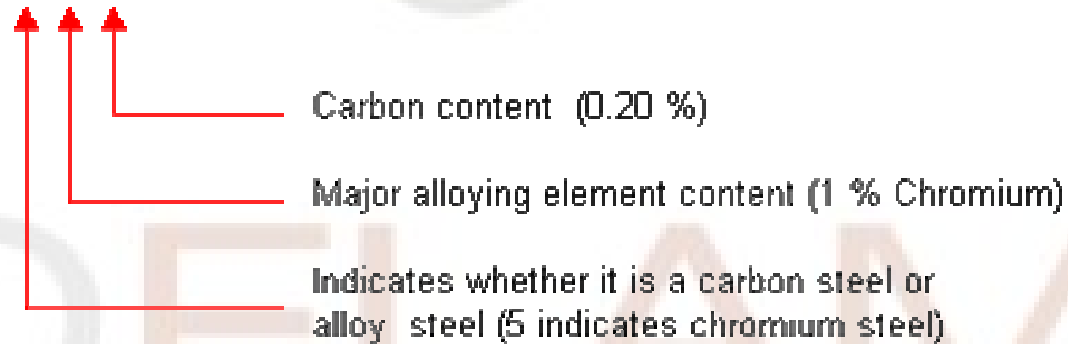
Indicates whether it is a carbon steel or alloy steel (1 indicates carbon steel, 2 and above indicate alloy steel)

# Classificação dos Aços

**SAE 25 15**



**SAE 5 1 20**



4140H – (H) – para aços de “temperabilidade” H (hardenability)

tratamento térmico

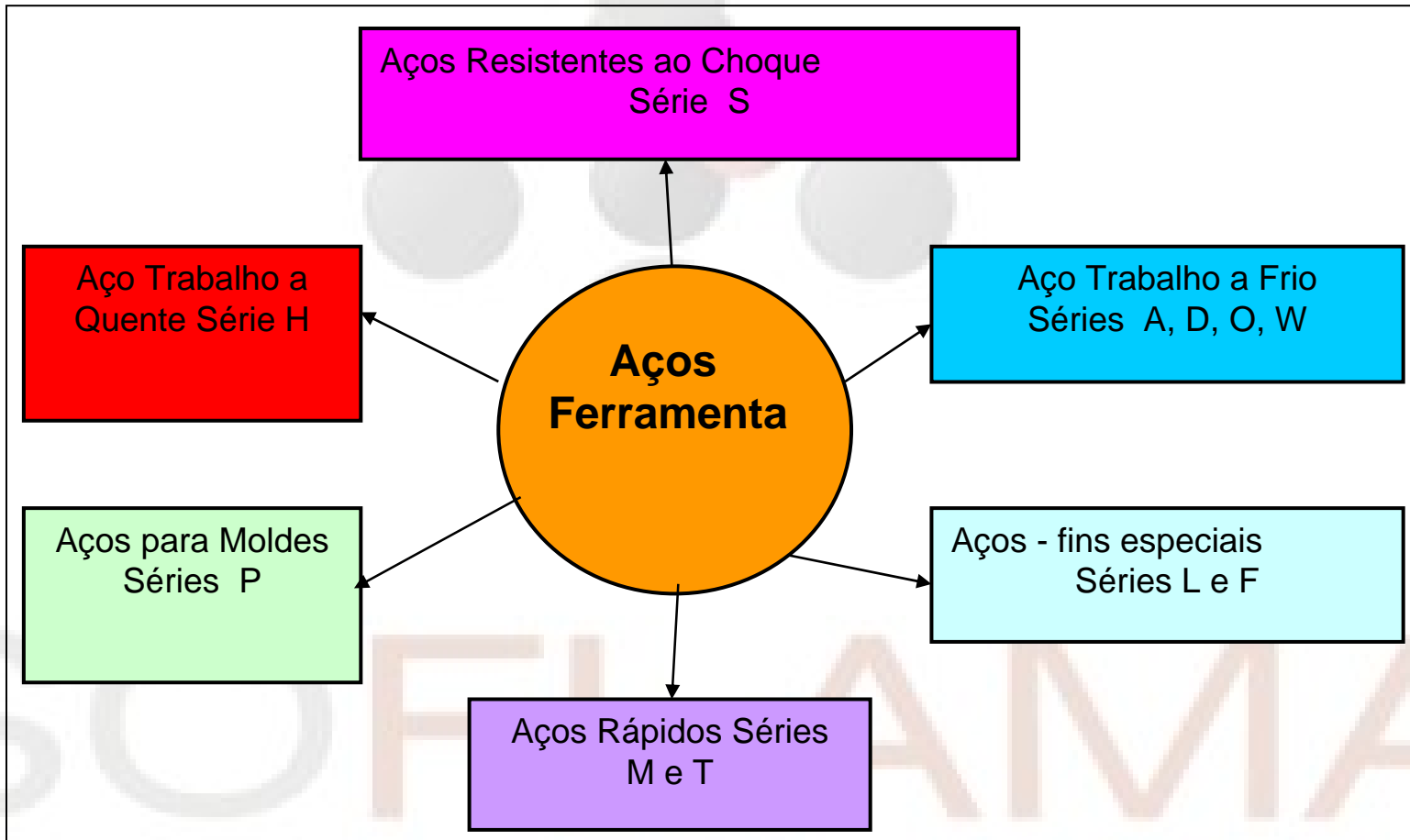
# Classificação dos Aços

Número SAE - AISI	Classificação
1XXX	<p><b>Aço Carbono</b>  <b>Aço Baixo Carbono: 0 to 0.25 % C</b>  <b>Aço Médio Carbono: 0.25 to 0.55 % C</b>  <b>Aço Alto Carbono: acima de 0.55 % C</b></p>
2XXX	<p><b>Aço ao Níquel (Ni)</b>  <b>5 % Nickel incrementa a resistência a tração sem redução da ductilidade</b>  <b>8 to 12 % Nickel incrementa a resistência e reduz a temperatura de impacto</b>  <b>15 to 25 % Nickel (com Al, Cu e Co) desenvolve altas propriedades magnéticas.</b>  <b>25 to 35 % Nickel incrementa resistência a corrosão em altas temperaturas</b></p>
3XXX	<p><b>Aços Níquel-Cromo. Aços que combinam tenacidade, ductilidade, resistência a desgaste, ductilidade e resistência a corrosão.</b></p>
4XXX	<p><b>Aços Molibdênio</b>  <b>Mo é forte formador de carbonetos. Tem forte efeito na temperabilidade e alta resistência a redução de dureza à temperatura. Incrementa também a resistência á tração de aços baixo carbono.</b></p>
5XXX	<p><b>Aços Cromo.</b>  <b>Cromo é um endurecedor da ferrita de aços baixo carbono. Incrementa a tenacidade e a resistência ao desgaste de camadas cementadas.</b></p>
<p>86XX  87XX  93XX  94XX  97XX  98XX</p>	<p><b>Aços triplos em liga (Ni, Cr e Mo)</b>  <b>Esses aços apresentam alta resistência mecânica (tração, fadiga) e boa resistência a corrosão.</b></p>

tratamento térmico

# Classificação dos Aços

## Aços-Ferramenta



ISOFLAMA

tratamento térmico

# Classificação dos Aços

## Aços-Ferramenta

Aço-Ferramenta	Grupo	Tipos
Trabalho a Frio	W O A D	W1, W2, W5 O1, O2, O6, O7 A2, A4, A6, A7, A8, A9, A10, A11 D2, D3, D4, D5, D7
Resistente ao Choque	S	S1, S2, S4, S5, S6, S7
Trabalho a Quente	H	H10-H19 Chromium types H20-H39 Tungsten types H40-H59 Molybdenum types
Aço Rápido	M T	Molybdenum types (M1, M2, M3-1, M3-2, M4, M6, M7, M10, M33, M34, M36, M41, M42, M46, M50) Tungsten types (T1, T4, T5, T6, T8, T15)
Moldes	P - Inox	P20; P50; P80; VC150; VP420IM; STAVAX ESR; M310; THY 2316
Fins Especiais	F, L	FL2, L6



# O que é Tratamento Térmico?

- Operação ou conjunto de operações realizadas no estado sólido compreendendo o aquecimento, a permanência em determinadas temperaturas e resfriamento, realizados com a finalidade de conferir ao material determinadas características.

NBR 8653

ISOFLAMA  
tratamento térmico

# Tratamento Térmico de Ligas Ferrosas

Objetivo do tratamento térmico é modificar propriedades:

- 1. Dureza**
- 2. Tenacidade**
- 3. Fadiga**
- 4. Corrosão**
- 5. Elétricas e magnéticas**
- 6. Remover Tensões**

ISOFLAMA

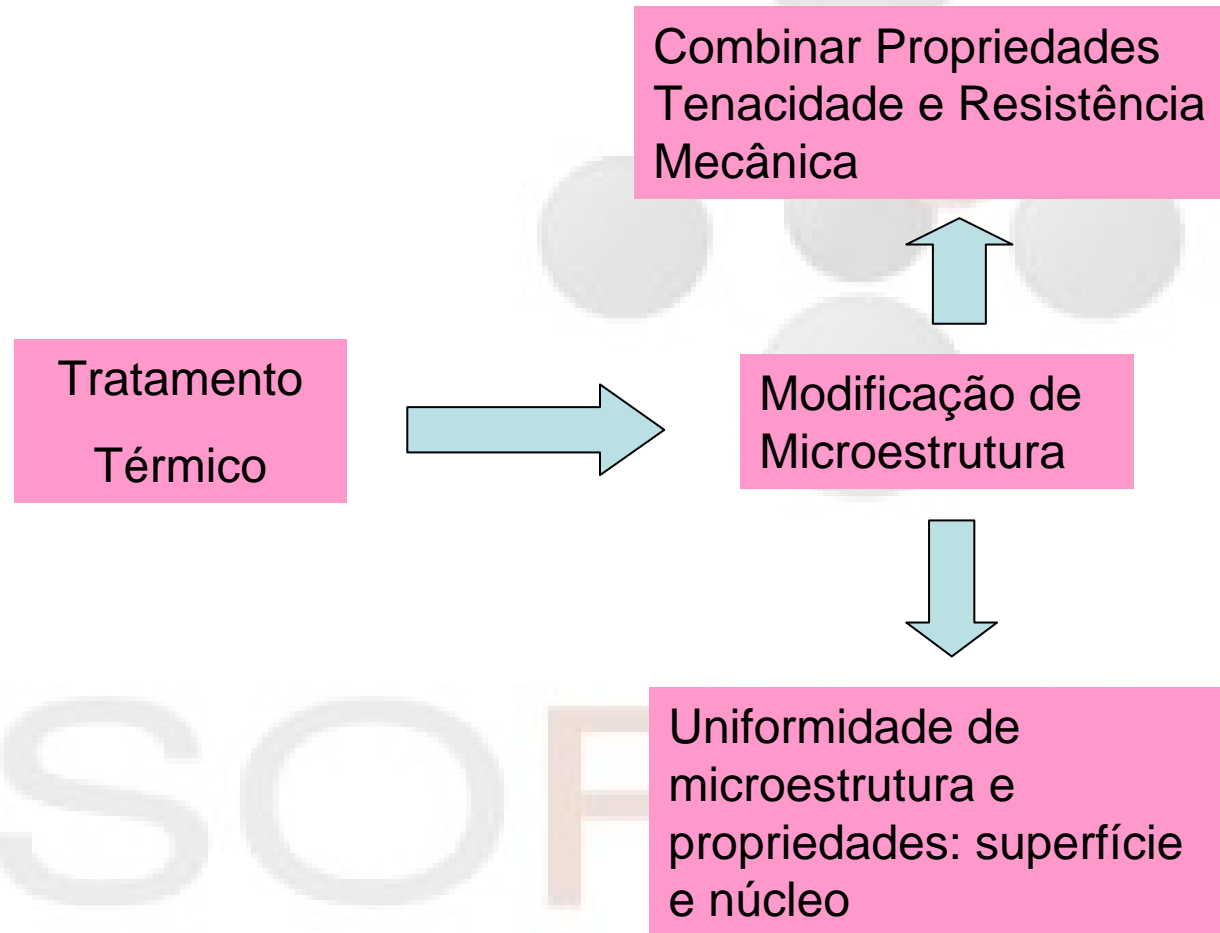
tratamento térmico

# Por que fazer o tratamento térmico?

- O tratamento térmico do aço é fundamental para maximizar desempenho de peça, ou ferramenta.
- Sem o tratamento térmico do aço muitas operações industriais, tais como usinagem, conformação (a frio, ou a quente), corte, injeção, extrusão, etc...não seriam realizadas de forma adequada, ou mesmo não realizadas
- Maximizar as propriedades mecânicas das ligas ferrosas e não ferrosas
- O tratamento térmico é uma operação que compreende a tríade: *conhecimento metalúrgico, bom senso (experiência) e arte*

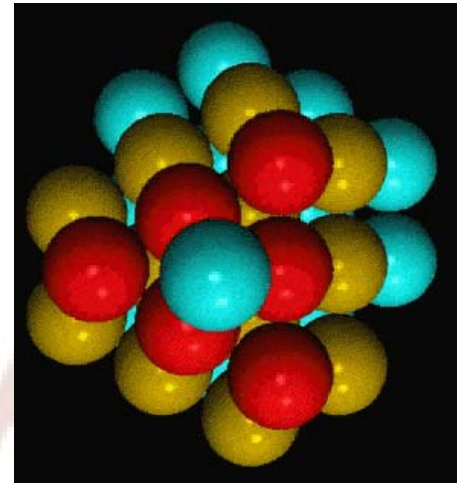
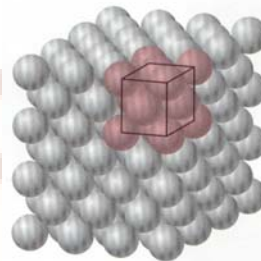
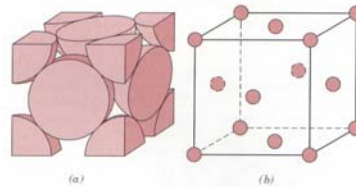
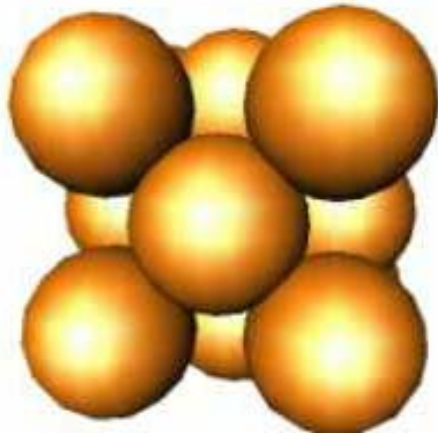
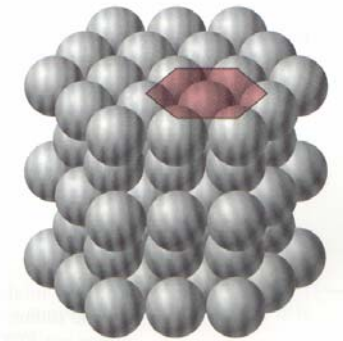
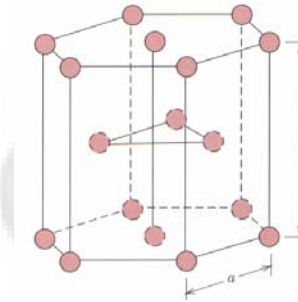
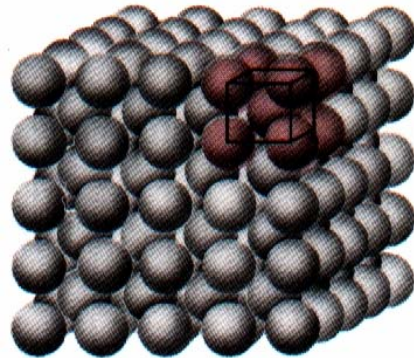
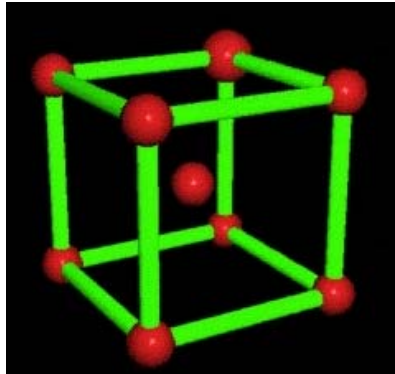
ISOFLAMA  
tratamento térmico

# Por que fazer o TT?



ISOFORMA  
tratamento térmico

# A estrutura cristalina dos metais



tratamento térmico

# Alotropia

2875

Vapor

1538

Líquido

1394

Ferro  $\delta$  CCC

912

Ferro  $\gamma$  CFC

770

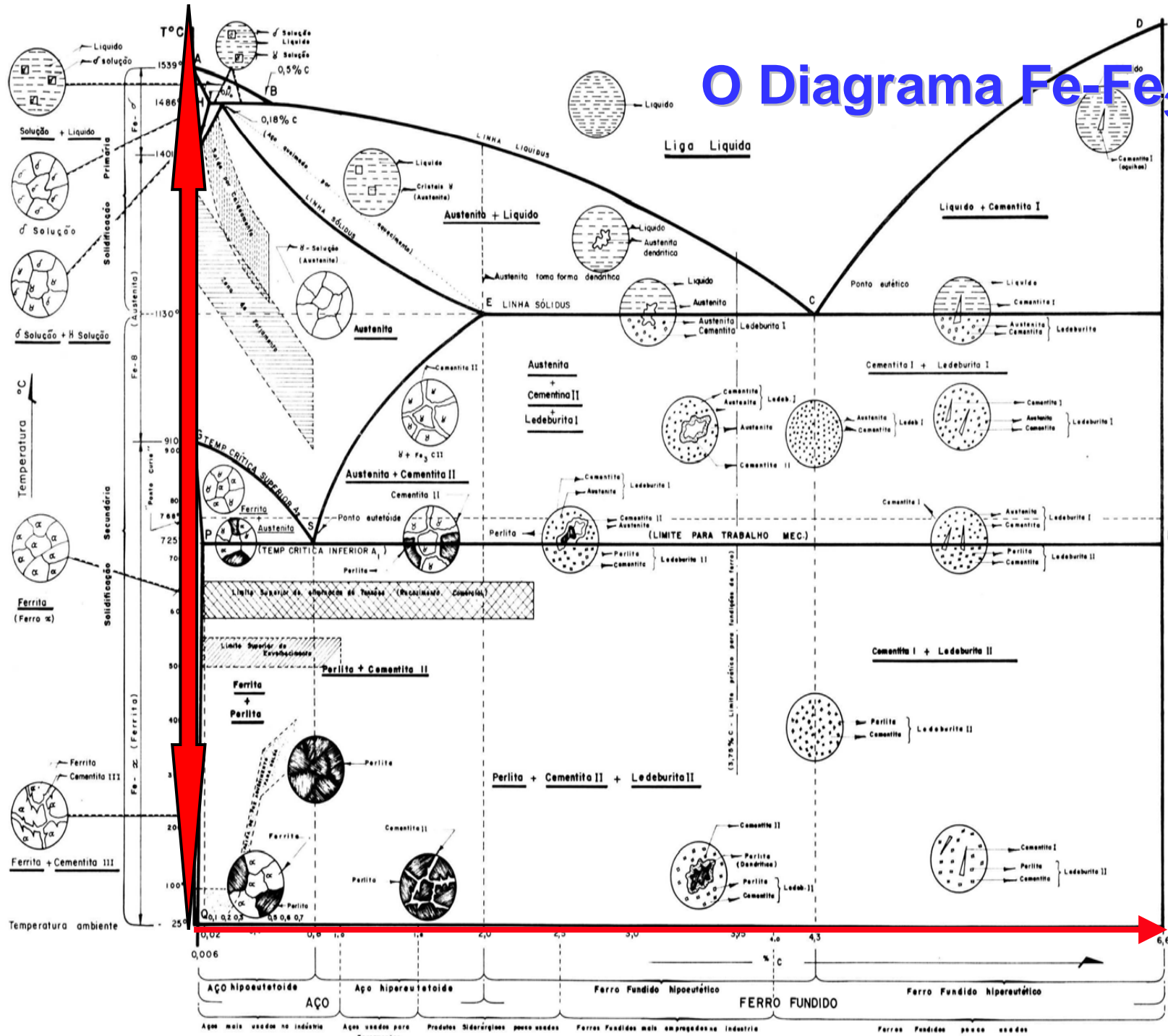
Não magnético – ferro  $\beta$

Ferro  $\alpha$  CCC - ferromagnético

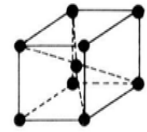
À temperatura ambiente – Situação para o FERRO PURO

tratamento térmico

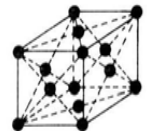
# O Diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>C



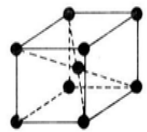
1) - Redes Atômicas



$$\frac{(Fe - \delta)}{a = 2,93 \text{ \AA}} \text{ C.C.C.}$$



$$\frac{(Fe - \gamma)}{a = 3,64 \text{ \AA}} \text{ C.F.C.}$$



$$\frac{(Fe - \alpha)}{a = 2,88 \text{ \AA}} \text{ C.C.C.}$$

2) Propriedades Mecânicas

FERRITA	DUREZA(HB)	TRAÇÃO	ALONGAM.
FERRITA	80	30 kgf/mm <sup>2</sup>	40%
PERLITA	200	85 " "	10 %
CEMENTITA	800	100 " "	0 %

3) - A dureza da MARTENSITA varia com o % de carbono.

**%C**

**DIAGRAMA FERRO CARBONO**  
asmmetals@bol.com.br

# A Têmpera

- **Definição:** operação de resfriamento do aço à temperatura de austenitização em um meio com óleo, água, ou gás nitrogênio sob pressão
- **Objetivos da Têmpera**
- Obter estrutura martensítica
- Modificar propriedades mecânicas:
- Resistência a tração
- Dureza
- Tenacidade
- Ductilidade
- Corrosão
- Magnéticas
- A Têmpera gera tensões no aço, sendo necessário a operação subsequente denominada REVENIMENTO, ou *recozimento para alívio de tensões*. Dependendo da liga ferrosa – tipo de aço / composição química – mais de um revenimento se faz necessário.

tratamento térmico



# Tratamento Térmico

**MATERIAL + TRATAMENTO TÉRMICO**

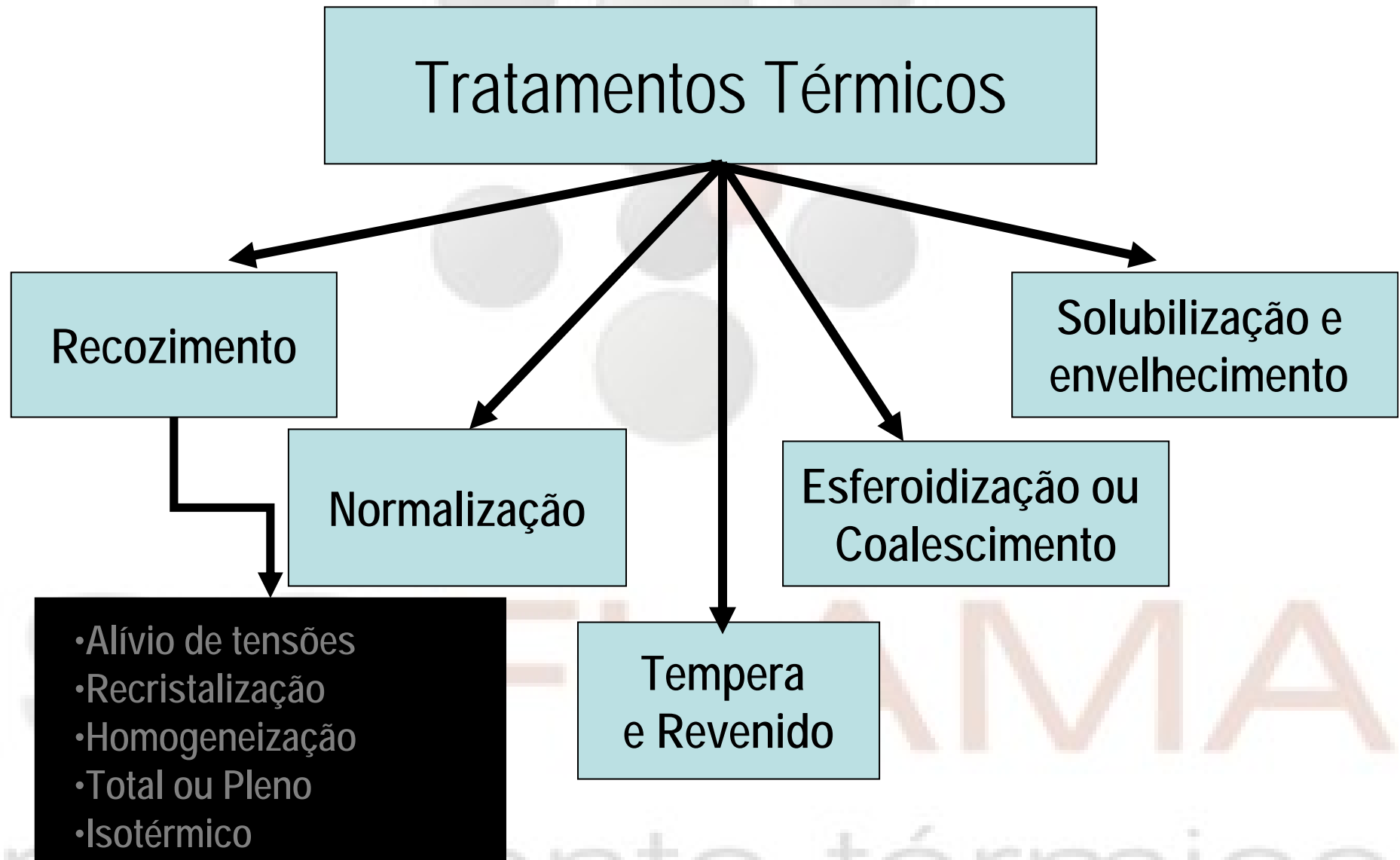


**O TRATAMENTO TÉRMICO ESTÁ ASSOCIADO DIRETAMENTE COM O TIPO DE MATERIAL.**

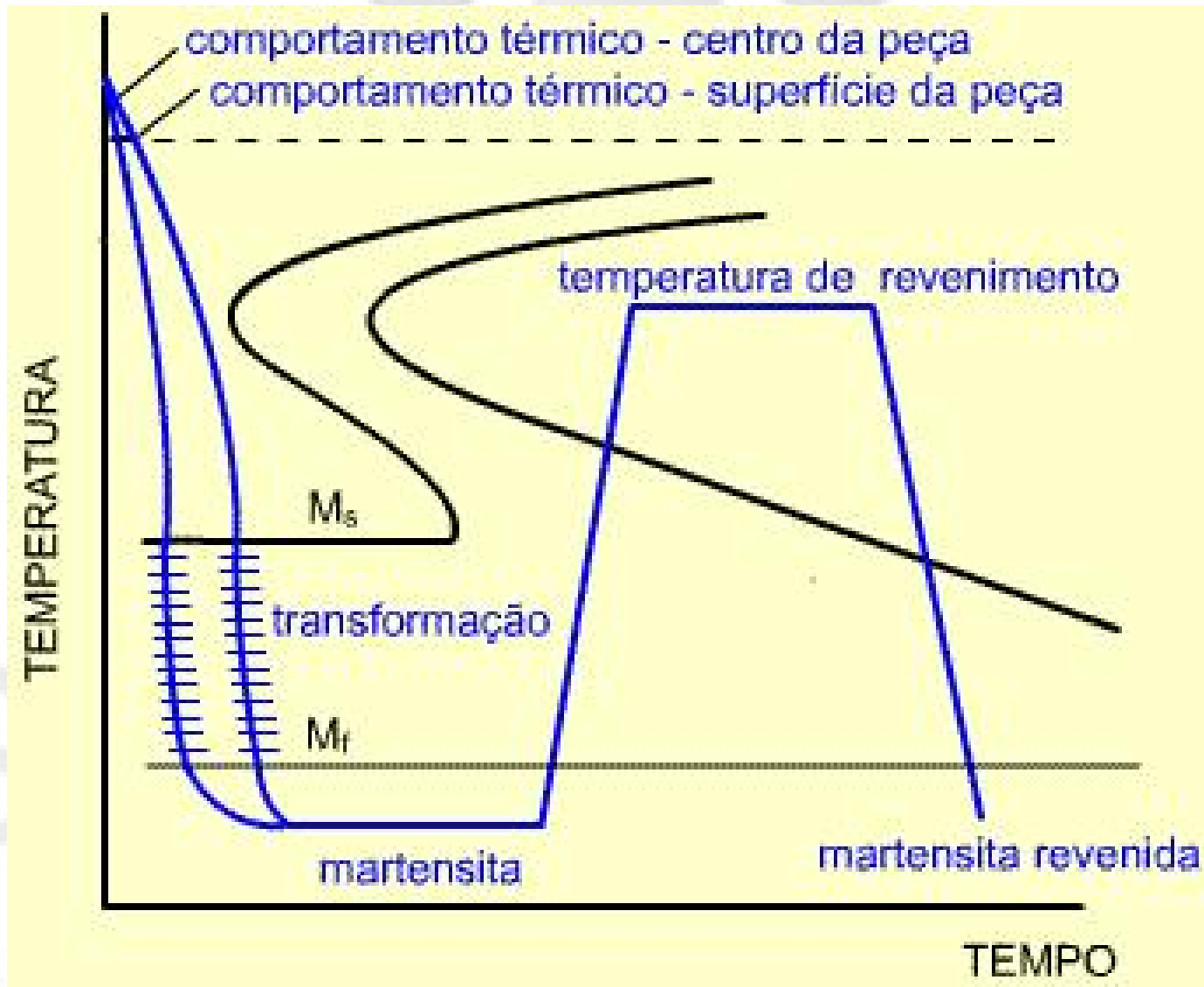
**PORTANTO, DEVE SER ESCOLHIDO DESDE O INÍCIO DO PROJETO**

ISO  
MA  
tratamento térmico

# Principais Tratamentos Térmicos

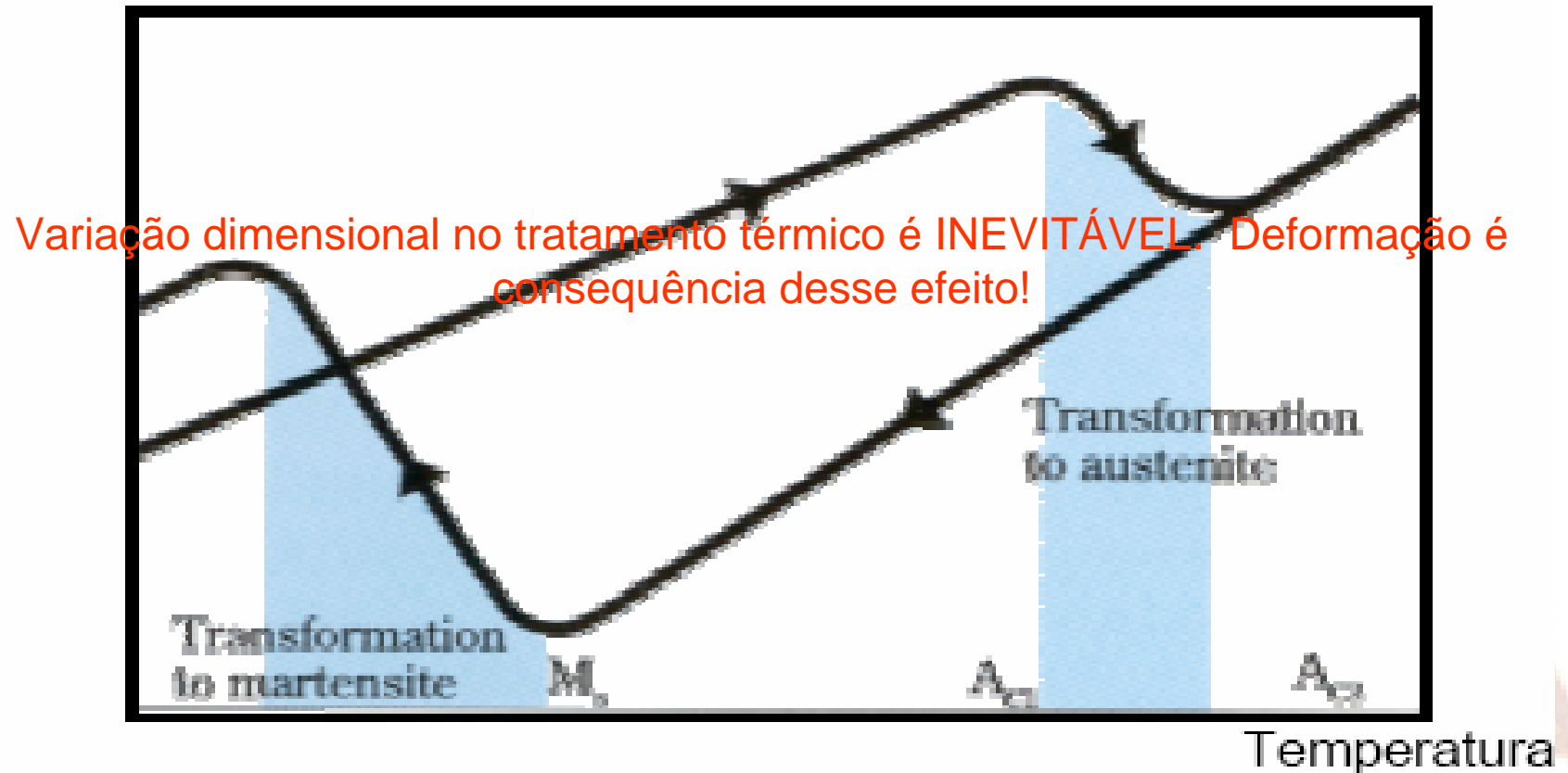


# Tratamento Térmico



# Mudança de Volume no Tratamento Térmico

Volume



**Mudança do volume devido a transformação estrutural**

tratamento térmico

# Projeto

- No projeto de uma ferramenta que será submetida ao tratamento térmico precisa considerar:
- Tamanho do bloco (dimensão adequada)
- Evitar cantos vivos; entalhes; e grandes diferenças de massas
- Processo de usinagem
- Alívio de tensão intermediário

## Fatores de influência nos tratamentos térmicos

- **Temperatura**
- **Tempo**
- **Velocidade de resfriamento**
- **Atmosfera \***

*(\*) para evitar a oxidação ou perda de algum elemento químico (ex: descarbonetação dos aços)*

ISOFLAMA  
tratamento térmico

# Fatores de influência nos tratamentos térmicos

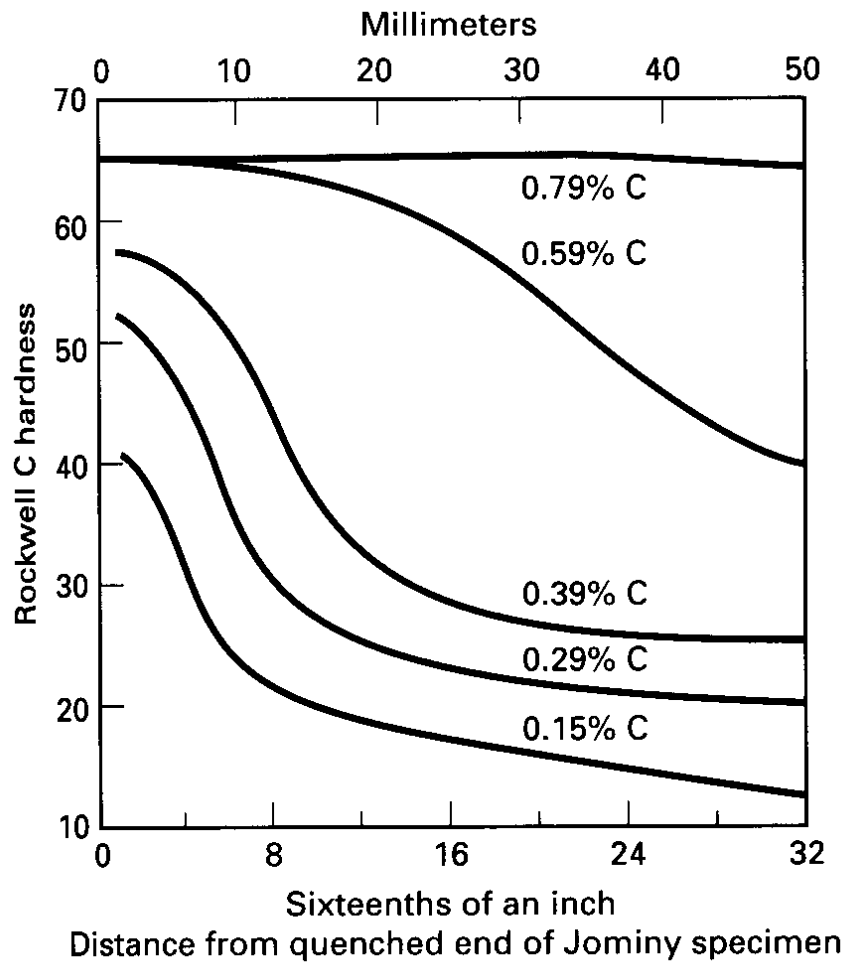
## Meios de resfriamento

- **Água**
- **Salmoura (água + sal industrial)**
- **Óleo**
- **Solução de polímeros (IQ – “intensive quenching”)**
- **Nitrogênio sob pressão**

ISOFLAMA

tratamento térmico

# Temperabilidade



Elemento CARBONO  
responsável pela dureza no aço

IS

ATAVA

tratamento

térmico



# Revenimento

**Definição:** operação de aquecimento do aço temperado na faixa de temperatura abaixo da linha A1

## Objetivos do Revenimento

- Aliviar ou remover tensões da têmpera
- Reduzir a dureza
- Aumentar a tenacidade
- Aumentar a ductilidade
- Reduzir a fragilidade

ISOFLAMA

tratamento térmico

# Martempera

**Definição:** operação de resfriamento do aço à temperatura de austenitização em um meio (sal fundido, óleo) com temperatura acima da temperatura de formação da martensita

## Objetivo da Martempera

- Prevenir grandes diferenças de temperaturas Núcleo / Superfície
- Formação uniforme de martensita através da seção da peça
- Reduzir tensões residuais
- Reduzir empenamento / distorção
- Reduzir risco de trinca

# O Sub-Zero

- Alguns tipos de aço, especialmente os alta liga, não conseguem finalizar a transformação de austenita em martensita.
- O tratamento consiste no resfriamento do aço a temperaturas abaixo da ambiente

Ex: Nitrogênio líquido:  $-196^{\circ}\text{C}$

Nitrogênio + álcool:  $-70^{\circ}\text{C}$

ISOFLAMA

tratamento térmico

# Critérios para seleção de Aços-Ferramenta

- Resistência ao amolecimento pelo calor
- Indeformabilidade na têmpera
- Resistência ao desgaste (abrasão)
- Resistência ao choque
- Resposta ao tratamento térmico de têmpera e revenimento
- Propriedades mecânicas depois do tratamento térmico
- Usinabilidade
- Tenacidade
- Resistência ao desenvolvimento de trincas
- Resistência à descarbonetação
- Facilidade de polimento

ISOFLAMA

tratamento térmico

# Tratamento térmico de aço-ferramenta

## Aço-Ferramenta

- Ligas especiais utilizadas no processo de conformação ou corte de materiais básicos, tais como metais, plásticos e madeira. Uma das principais características dessas ligas diz respeito à sua resposta ao revenido e elevada temperabilidade, sendo ambas relacionadas aos elementos de liga presentes.

## Tratamento Térmico

- O resfriamento pode ser conduzido em fornos com os seguintes meios de resfriamento:
- Óleo; Polímero; Sal Fundido; ou Vácuo (sob pressão de gás nitrogênio)
- Dependendo da liga ferrosa, mais de um revenimento será necessário
- Cuidados especiais na montagem, aquecimento, manutenção à temperatura e resfriamento são necessários para reduzir empenamento e risco de trincas

ISOFLAMA  
tratamento térmico

# Aços-Ferramenta

Aços-ferramenta são ligas ferrosas aplicadas na fabricação de ferramentas de corte, dobramento, moldes, matrizes ou qualquer ferramenta capaz de transformar um material em utensílio de uso definido.

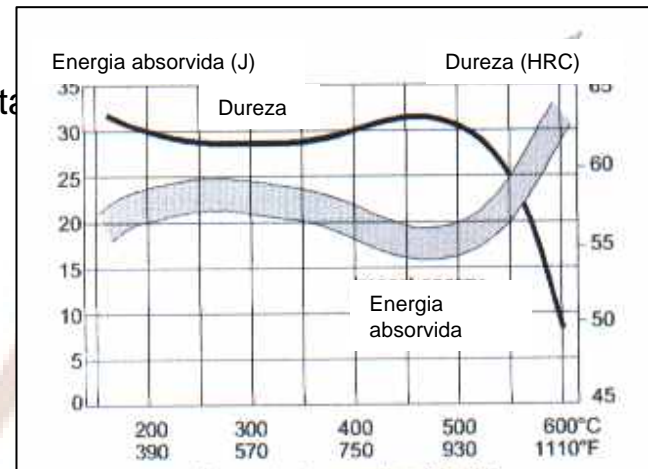
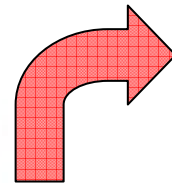
Ligas Fe - C + Cr, V, Mo  
elementos de liga (transição)

•

estrutura

Carbonetos complexos envolvidos em uma matriz de martensita

propriedades



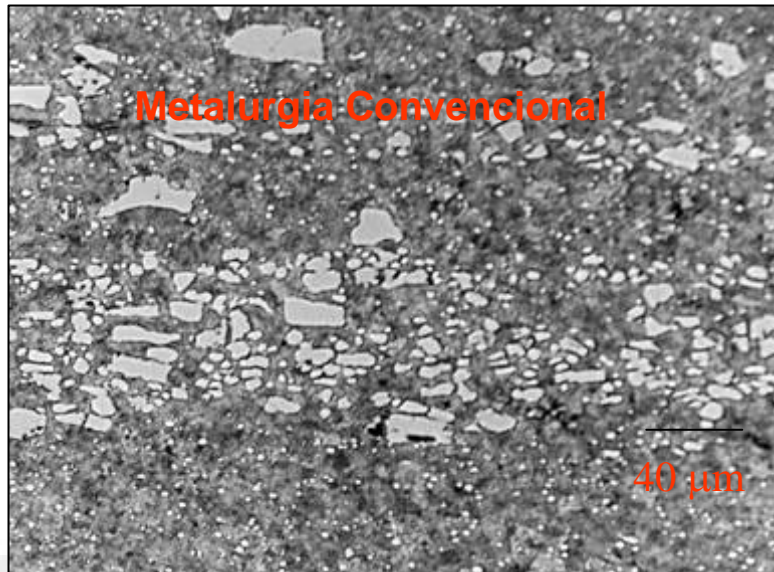
Alta dureza → Resistência aos mecanismos de desgaste  
PREOCUPAÇÃO COM A TENACIDADE

tratamento térmico

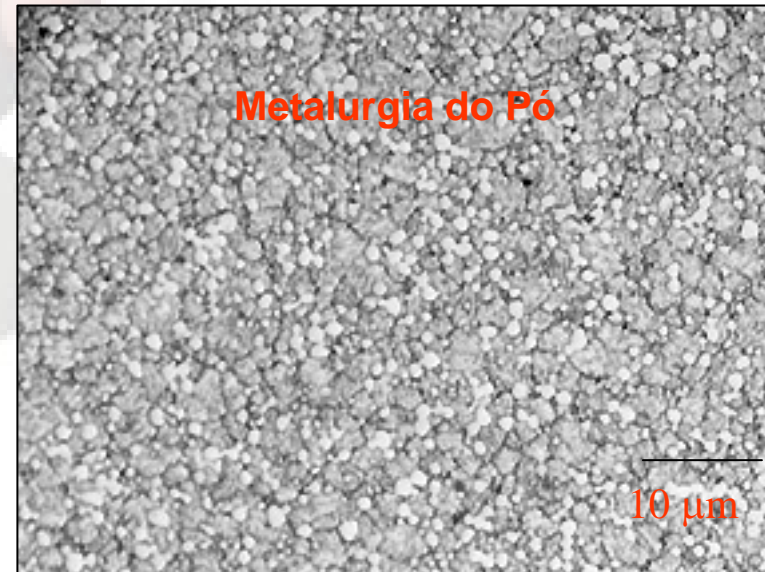
# Aços-Ferramenta

- Segregação de carbonetos
- Rede de carbonetos grosseiros
- Estrutura heterogênea.

- Estruturas isotrópicas
- Carbonetos menores e homogeneamente dispersos
- Avanço na confecção de aços-ferramenta



Estrutura bandeada, típica de aço-ferramenta para trabalho a frio AISI D6 (2,1%C - 11,5 % Cr - 0,2%V ).  
Ataque Nital.



Estrutura típica de aço-ferramenta para trabalho a frio sinterizado 2,3%C - 12,5%Cr - 4%V.  
Ataque Nital.

tratamento térmico

# Tratamento térmico de aço-ferramenta

## Efeito dos elementos de liga

- **Manganês (Mn)** – aumenta a temperabilidade; tendência a causar fragilidade ao revenido
- **Cromo (Cr)** - aumenta a Temperabilidade. Tendência promover crescimento grão austenítico
- **Silício (Si)** - pequeno aumento da temperabilidade. Resistência a oxidação em altas temperaturas
- **Molibdênio (Mo)** - Aumenta a resistência ao revenido. Causa intenso endurecimento secundário.
- **Vanádio (V)** - Aumenta a Temperabilidade. Tendência a causar fragilidade ao revenido
- **Tungstênio (W)** - Limita crescimento de grão austenítico. Forma carboneto estável a altas temperaturas. Aumenta resistência ao revenido. Causa endurecimento secundário
- **Cobalto (Co)** - Retenção da dureza a quente. Diminui a temperabilidade

tratamento térmico



# Marcas para o aço AISI 420

Tabela de Composição para as diversas marcas do aço AISI 420

Marcas	C	Cr	Mo	Outros
1. AISI 420	0,15 - 0,40	12,0 - 14,0		
2 - VC150	0,35	13,0		
3 - VP420IM	0,40	13,5		0,25 V
4 - 420	0,15 min	12,0 - 14,0		
5 - 420 F	0,15 min	12,0 - 14,0	0,60 max	
6 - 420 FSe	0,30 - 0,40	12,0 - 14,0		Se 0,15 min
7 - M310	0,41	14,3	0,60	0,20 V
8 - STAVAX ESR	0,38	13,6		0,30 V
9 - THY 2190	0,40	13,50		0,25 V
10 - THY 2316	0,36	16,0	1,2	

Legenda:

1 - AISI

2 e 3 - VILLARES METALS

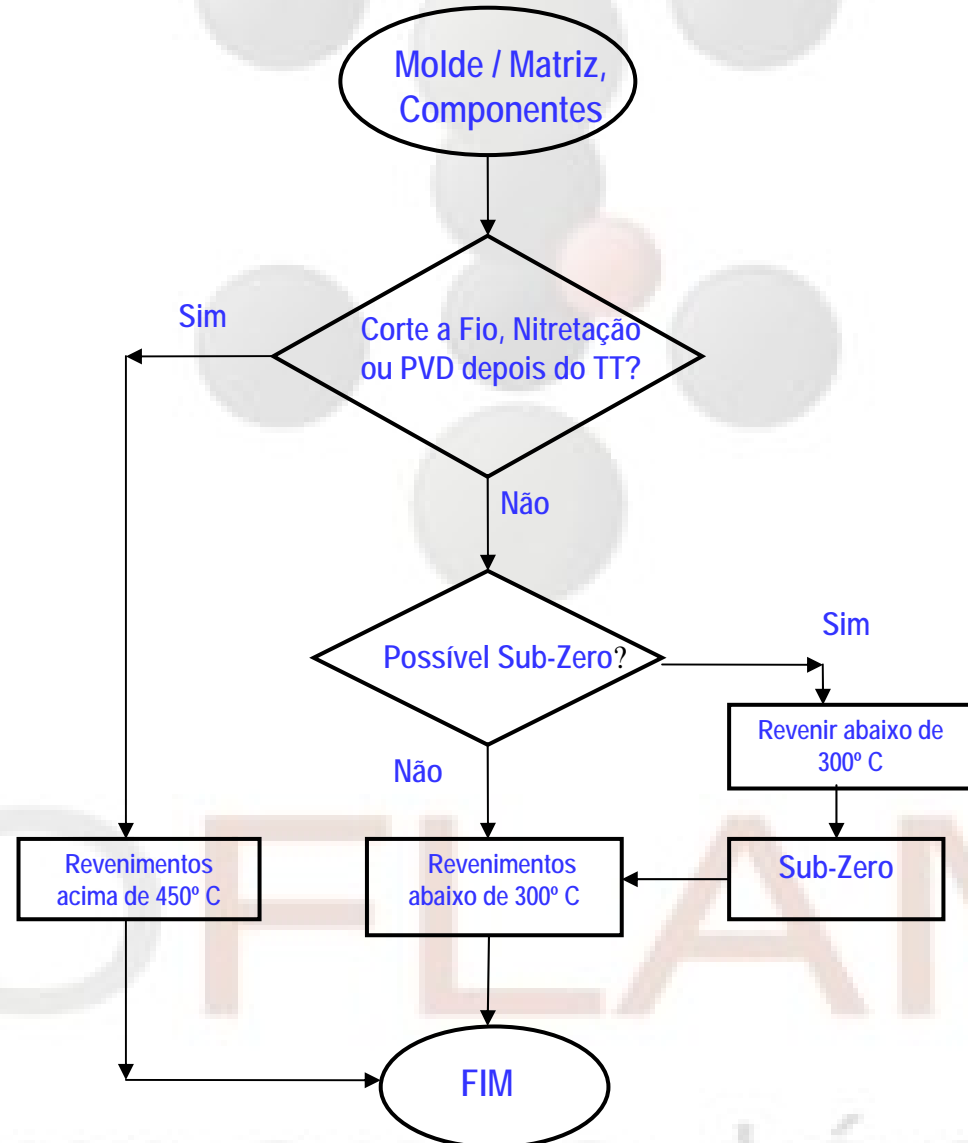
4, 5 e 6 - GERDAU

7 - BOEHLER

8 - UDDEHOLM

9 - SCHMOLZ-BICKENBACH

# Rotas possíveis de Tratamento Térmico para o aço AISI 420



ISOPHILAMA  
tratamento térmico

# TT do aço AISI 420

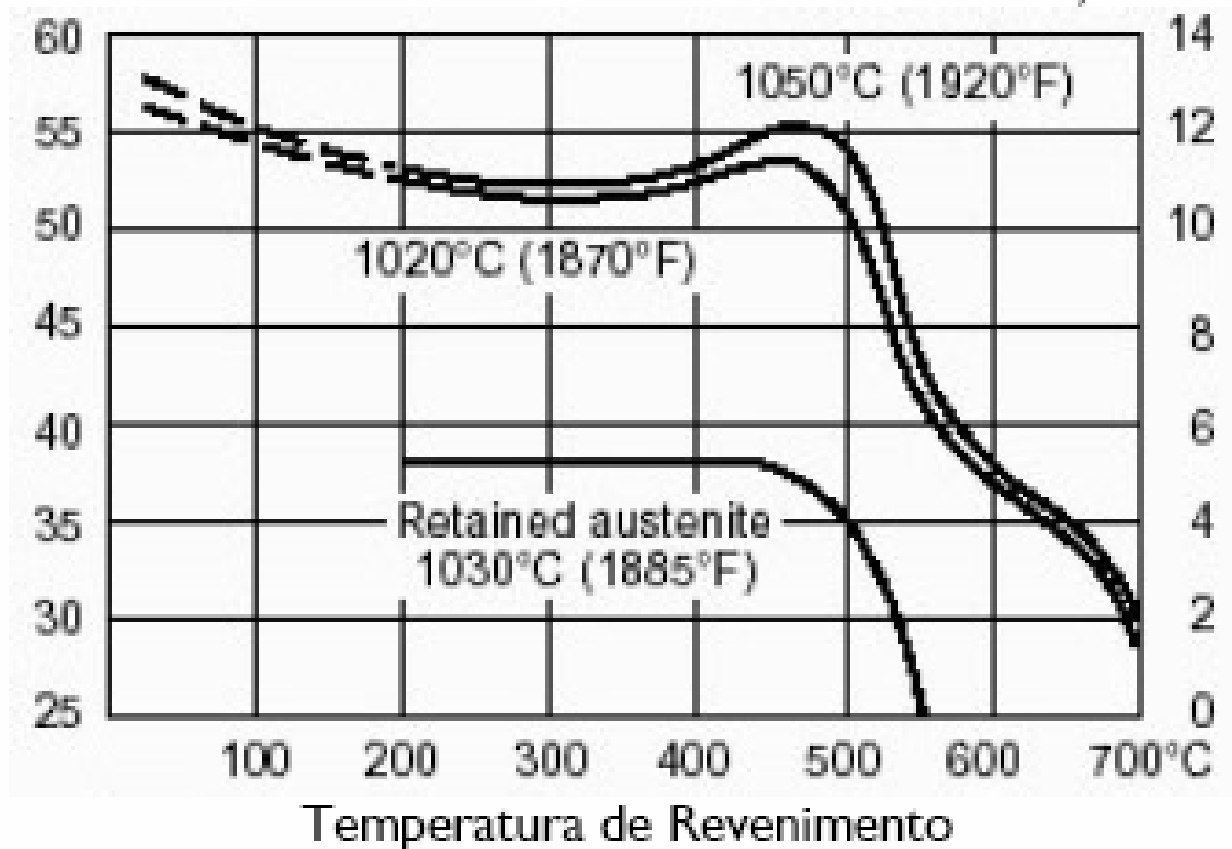
Ferramenta		Situação A	Situação B
Aplicação		Matriz para injeção de plástico	Molde para injeção de plástico
Processo injeção		Com resfriamento - água	Sem resfriamento
Aço		AISI 420	AISI 420
Processo TT			
Processo de Tratamento Térmico	Austenitização	1020° C	1020° C
	Revenimento	500 a 520° C (2xs)	250° C (2x)
	Dureza	46 – 48 HRC	50 – 54 HRC
Polibilidade			X
Resistência a Corrosão			X
Tenacidade			X

# Revenimento do aço AISI 420

STAVAX ESR

Dureza  
HRC

Austenita retida, %



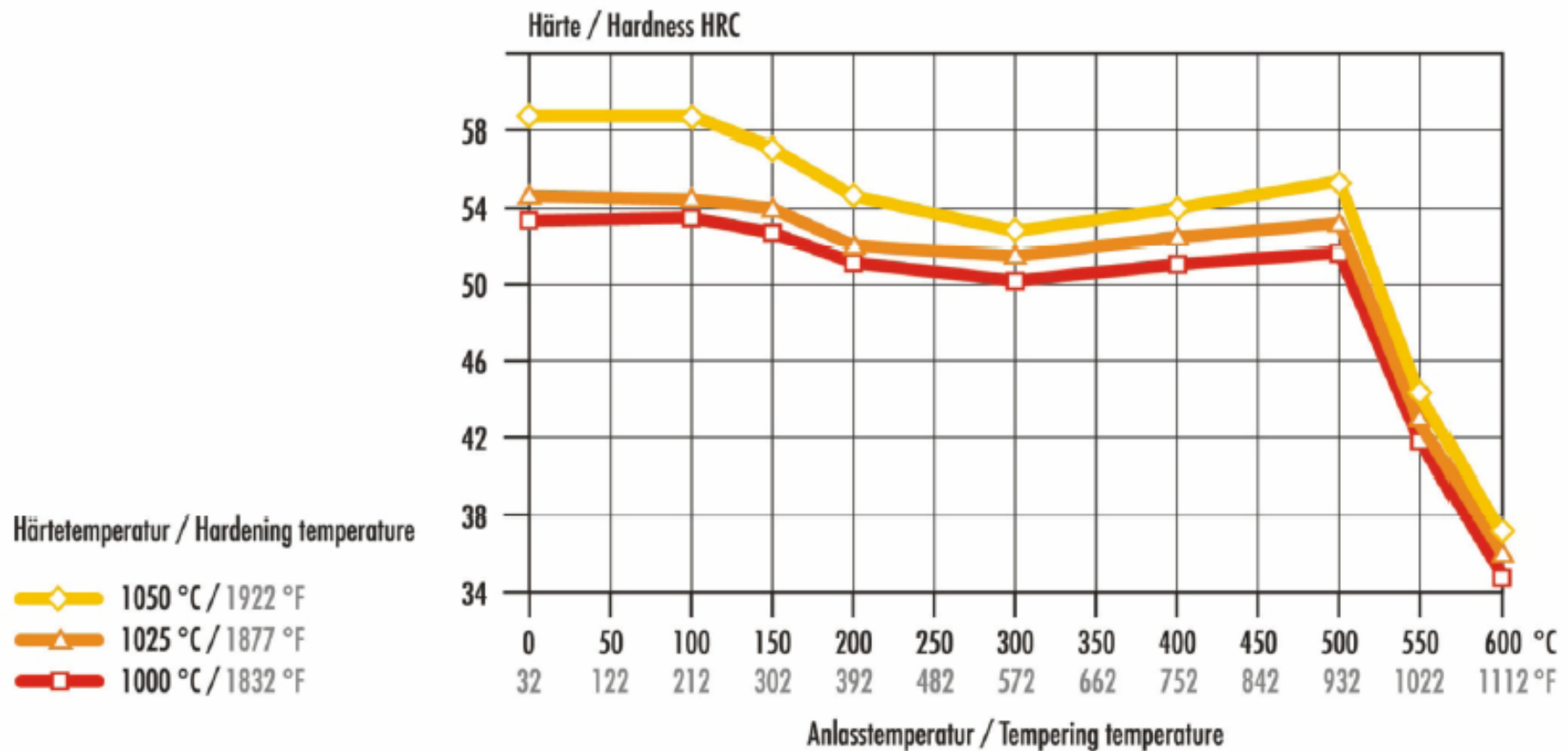
IS

tratamiento térmico

A

# Revenimento do aço AISI 420

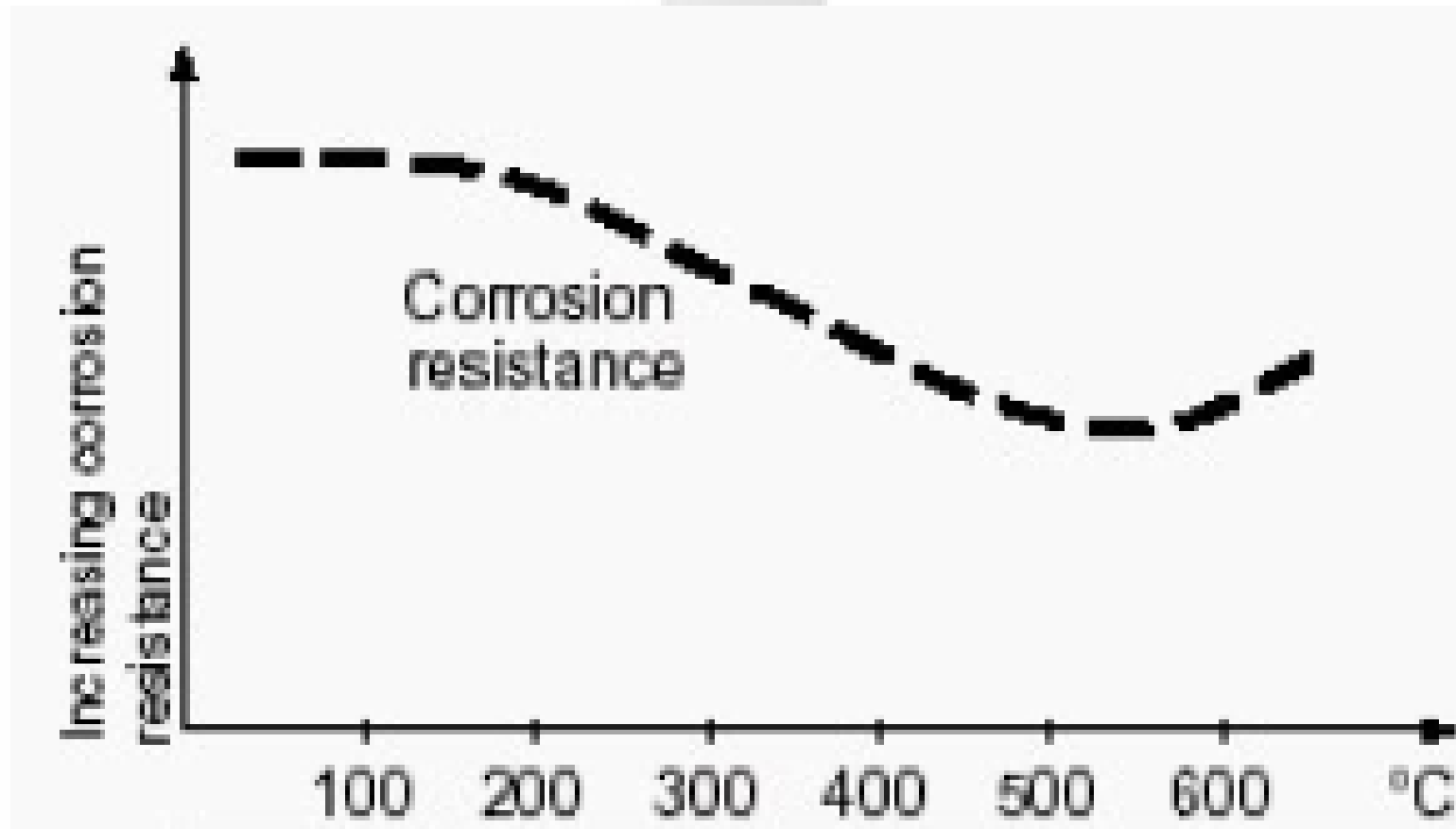
M310 - Boehler



tratamento térmico

# Resistência à Corrosão do aço AISI 420

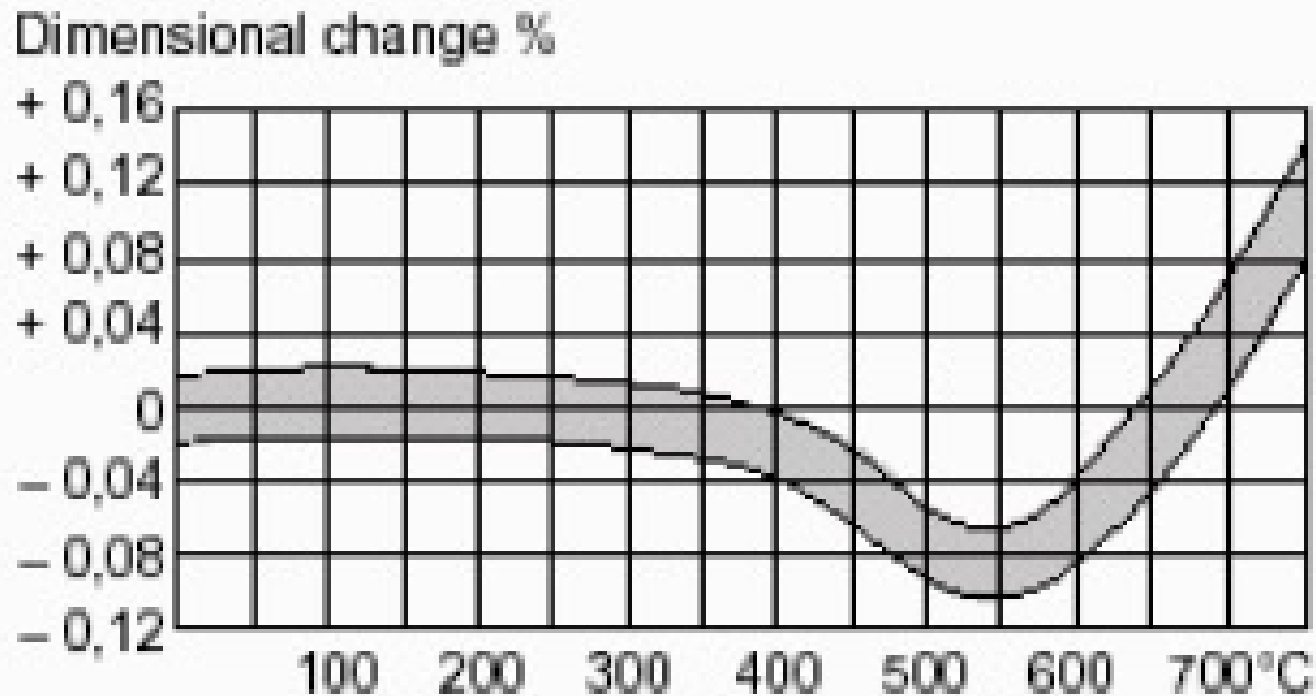
Depois do TT – Aço STAVAX ESR



Temperatura de Revenimento

# Variação dimensional do aço AISI 420 depois do TT

STAVAX ESR



Nota: Alterações dimensionais durante a tempera e revenimento precisam ser somadas

tratamento termico

# Propriedades depois do TT do aço AISI 420

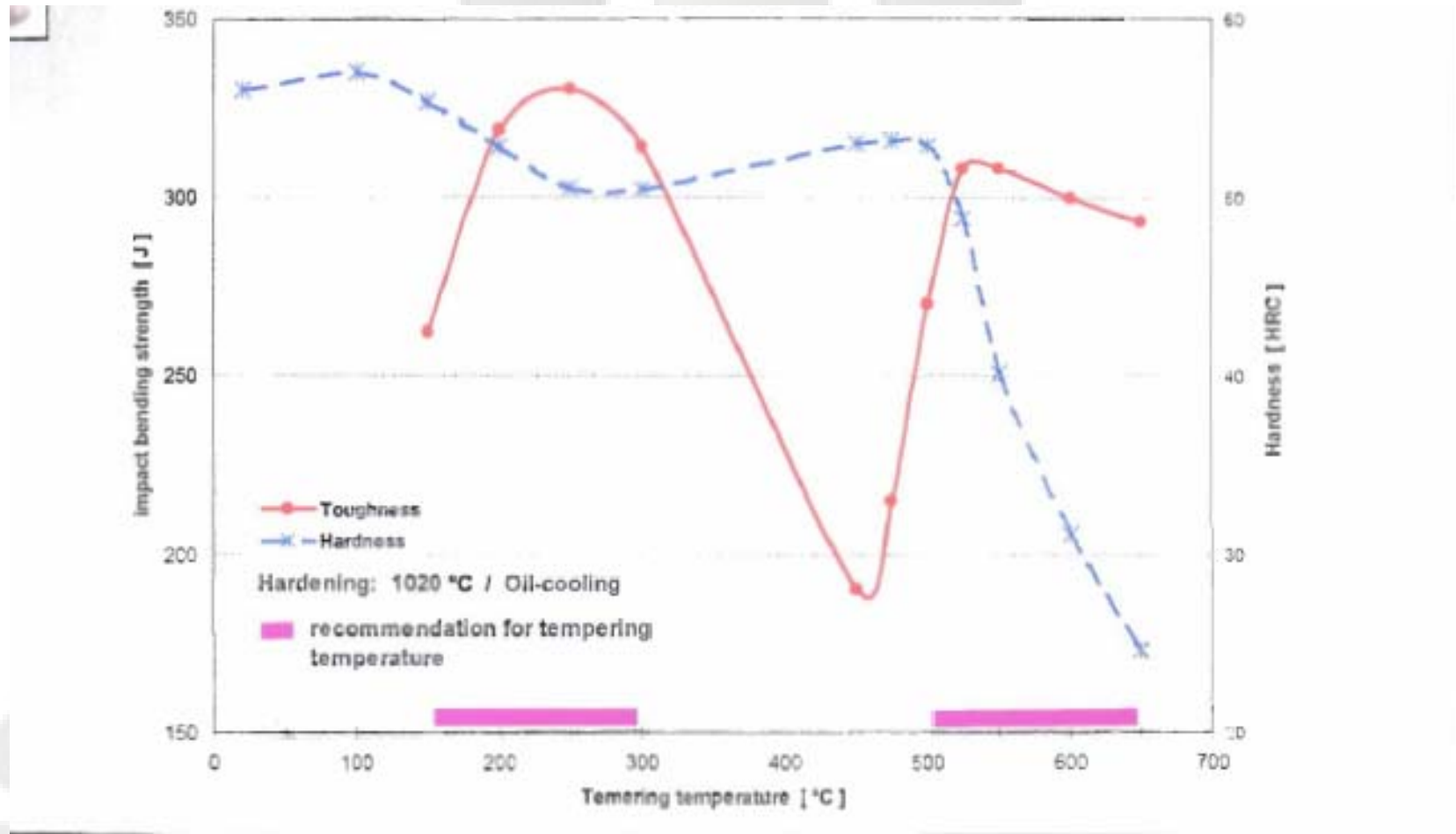
420 F - Gerdau



ISOFLAMMA  
tratamento térmico



# Propriedades depois do TT do aço M333



C	Si	Mn	Cr	
0,28	0,30	0,30	13,5	N



# O Tratamento Térmico em Vácuo

Quais tratamentos térmicos podem ser realizados em fornos à vácuo?

**Alívio de Tensão**

**Recozimento**

**T ê m p e r a** (martempera)

**Revenimento**

**Brasagem**

Não se realiza sob vácuo: Normalização

ISOFLAMA

tratamento térmico

- 
- A large industrial vacuum furnace is shown in a laboratory or industrial setting. The furnace is a large, cylindrical, light-colored vessel mounted on a blue metal frame with red base supports. It has various pipes, valves, and a control panel on top. To the right of the furnace is a tall, white control cabinet with a monitor screen, several buttons, and a small window. The background shows a white wall with some electrical conduits and a fire extinguisher on the floor.
- Dimensão útil: 600 x 600 x 900 mm
  - Temperatura máxima: 1.300° C
  - Vácuo: ordem de  $10^{-2}$  mmbar
  - Monitoramento de parâmetros via "web"
  - Automático
  - Capacidade: 1.000 kg
  - Pressão máxima de resfriamento com gás nitrogênio: 12 bar

# Isoflama – O painel de controle do forno de Têmpera a Vácuo

There are no items to show in this view

2003-04-02 15:05:17  
None AUTO  
SECO/WARWICK  
6.0 VPT 4022/24HV

Numer receptury 0 Numer segmentu 0

Rampa [°C/min]	Temp. [°C]	Czas [min]	G.Wytrz. [°C]	Ciśnienie [Bar]	Próżnia [mBar]	Typ T/C
SP						
PV						

Status cyklu OFF  
Status grzania OFF

START CYKLU

HOLD  NAST. SEGMENT

Czas cyklu 0 [h] 0 [min]  
Licznik cykli 0

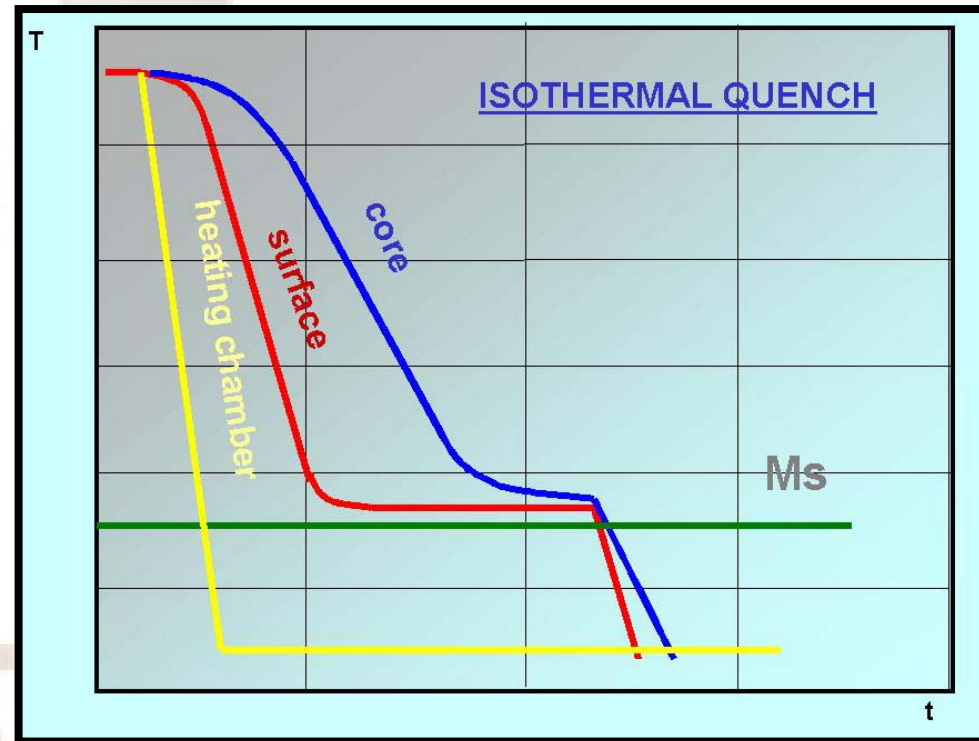
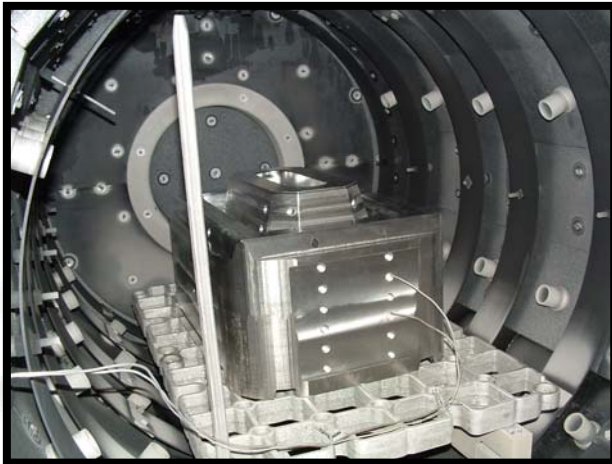
WSP temp [°C] 0.0 Temp w piecu [°C] 0.0  
Temp #1 (pow) [°C] 0.0 Temp #2 (rdzeń) [°C] 0.0  
Ciśnienie [mBar] 0.0 x 10<sup>0</sup>

Mieszarka OFF

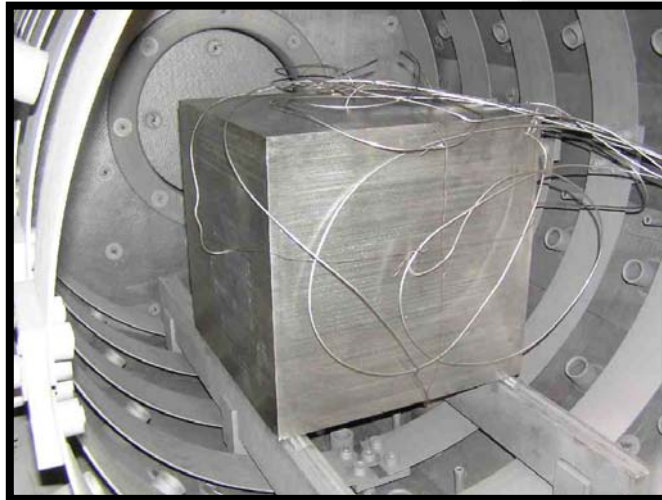
Zawór upustowy gazu Główny zawór gazu  
Zawór ograniczenia próżni  
Dmuchawa OFF  
Główny zawór próżniowy  
Zawór odcinający próżniowy  
Zawór obejściowy próżniowy  
Pompa dyfuzyjna OFF  
Pompa Roota OFF  
Pompa próżni wst. OFF  
Zawór wody chłodniczej

Logo Zasilanie Grzanie Pompowanie Trendy Serwis  
Piec Woda Chłodzenie Receptura T/C wsad. Alamy

# Nosso Equipamento – “Isothermal Quench”



Resfriamento de bloco de aço AISI H13, 400x400x400 mm,  
pressão 9 bar de N<sub>2</sub> – conforme NADCA

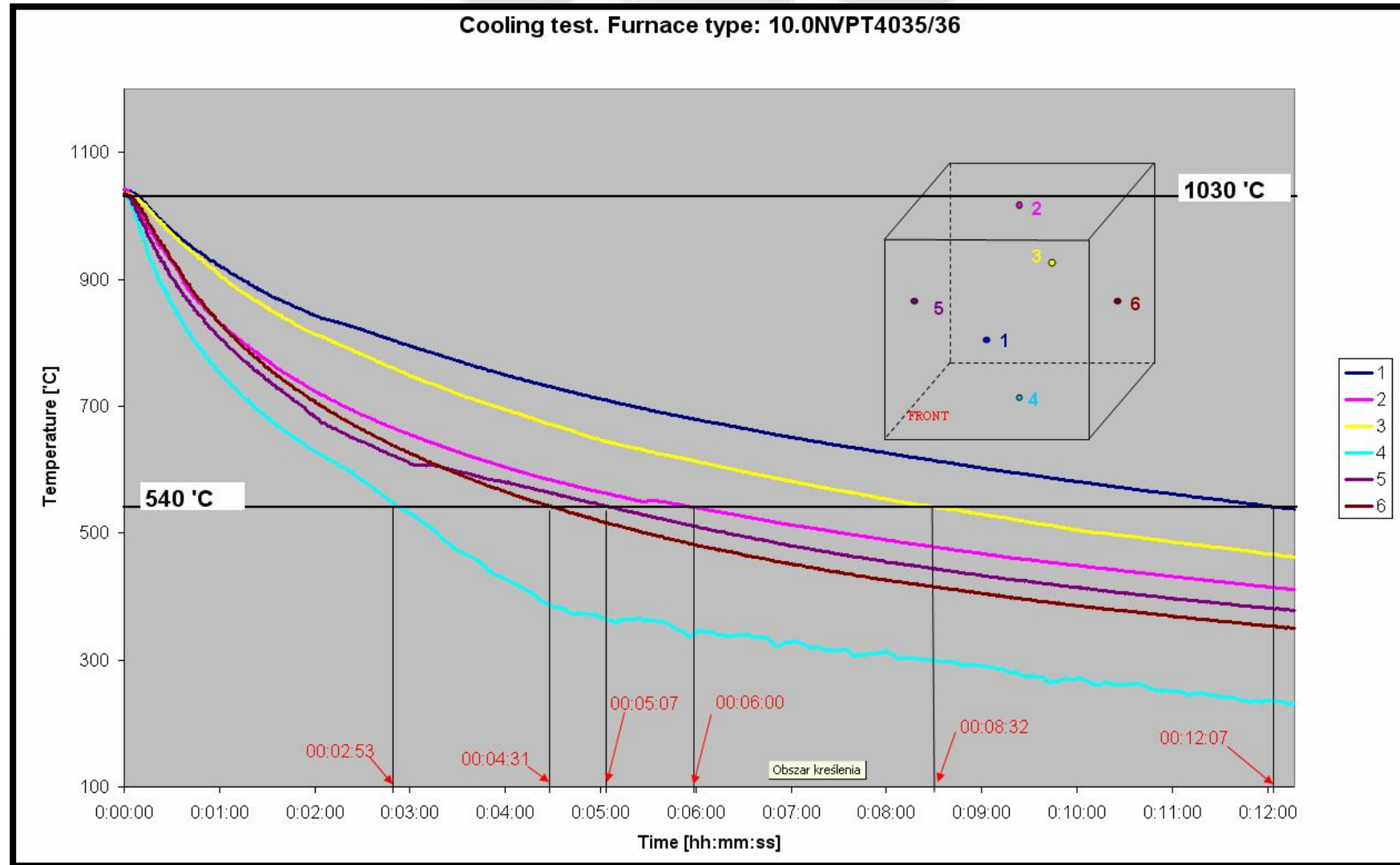


ISO

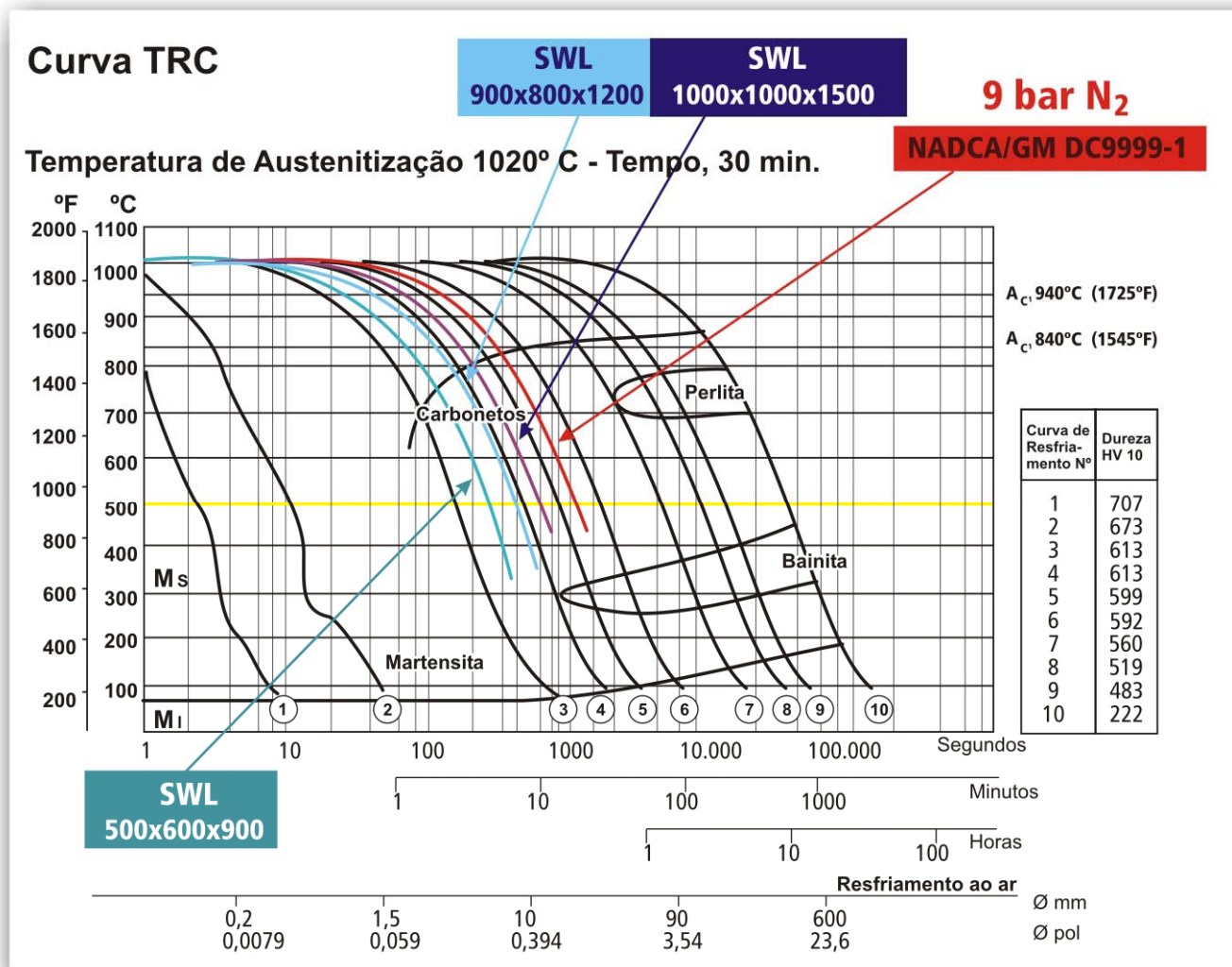
MA

tratamento térmico

# Resfriamento de bloco de aço AISI H13, 400x400x400 mm, pressão 9 bar de N<sub>2</sub> – conforme NADCA



# Resfriamento de bloco de aço AISI H13, 400x400x400 mm, pressão 9 bar de N<sub>2</sub> – conforme NADCA



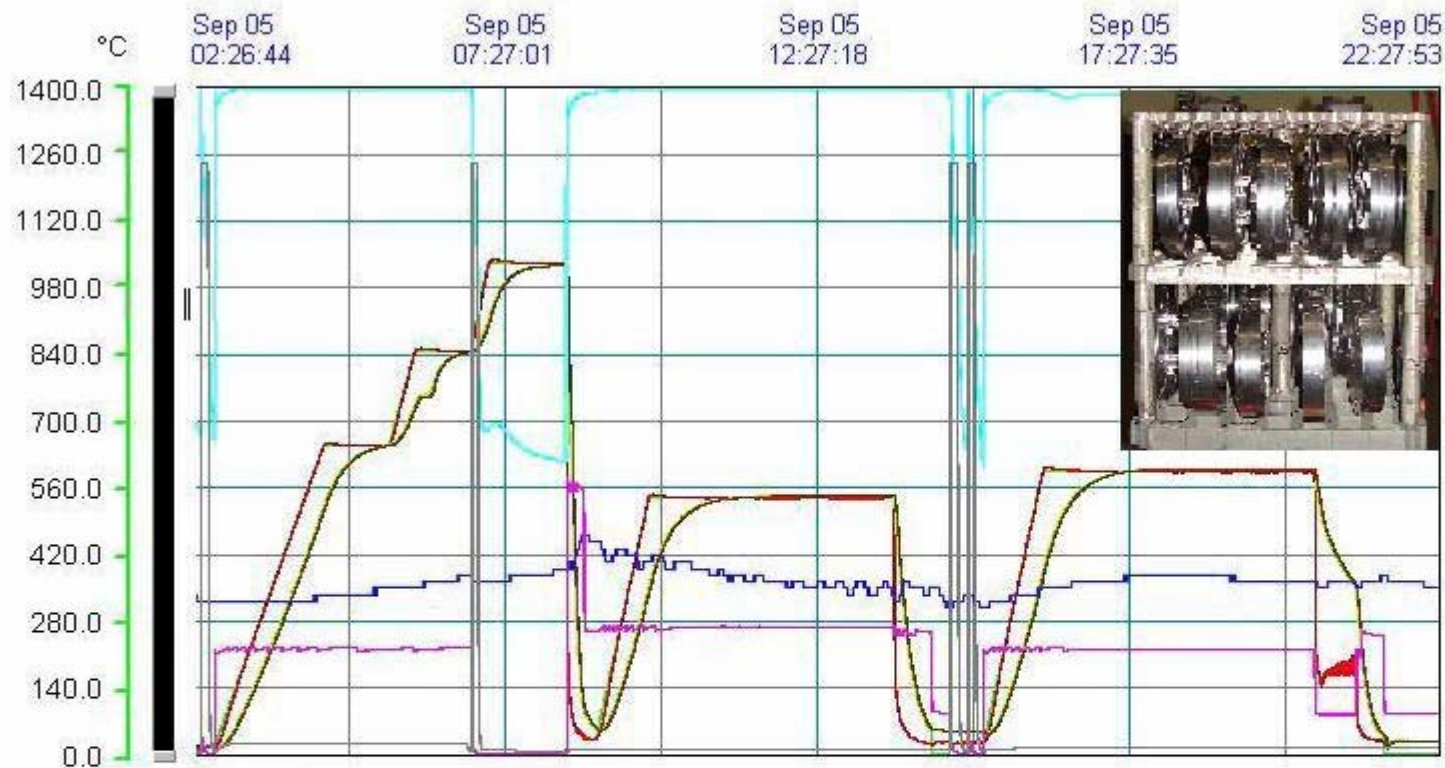
IS

tratamento térmico

A



# HISTORICAL DATA



02:26:44 ▶

02:26:44 Zoom In 20h 1m 9s Zoom Out 22:27:53 ▶


4 hours 1 hour ◀◀ ◀ 1 minutes ▶ ▶▶ 30 minutes 10 minutes ▶▶▶

**Ciclo térmico do aço AISI H13 - Revenimento 1 (540oC) e Revenimento 2 (600oC)**



RETURN



- 
- The image shows a large industrial vacuum furnace system. On the left is a tall, light-colored control cabinet with a control panel featuring several analog gauges, a digital display, and various buttons. A keyboard is placed on a tray in front of the cabinet. To the right is a large, horizontal, cylindrical chamber with a white exterior and a blue door. The chamber is mounted on a blue and red metal frame. A blue control box is attached to the side of the chamber. The system is located in a factory or laboratory setting with a concrete floor and a white wall in the background.
- Resfriamento rápido: "turbo cooler"
  - Vácuo + aquecimento com gás nitrogênio
  - Temperatura máxima: 700° C
  - Processo controlado e automático
  - Monitoramento de parâmetros via "web"
  - Dimensão útil: 600 x 600 x 900 mm

# O Tratamento Térmico em Vácuo

Limitações do Tratamento Térmico em Vácuo

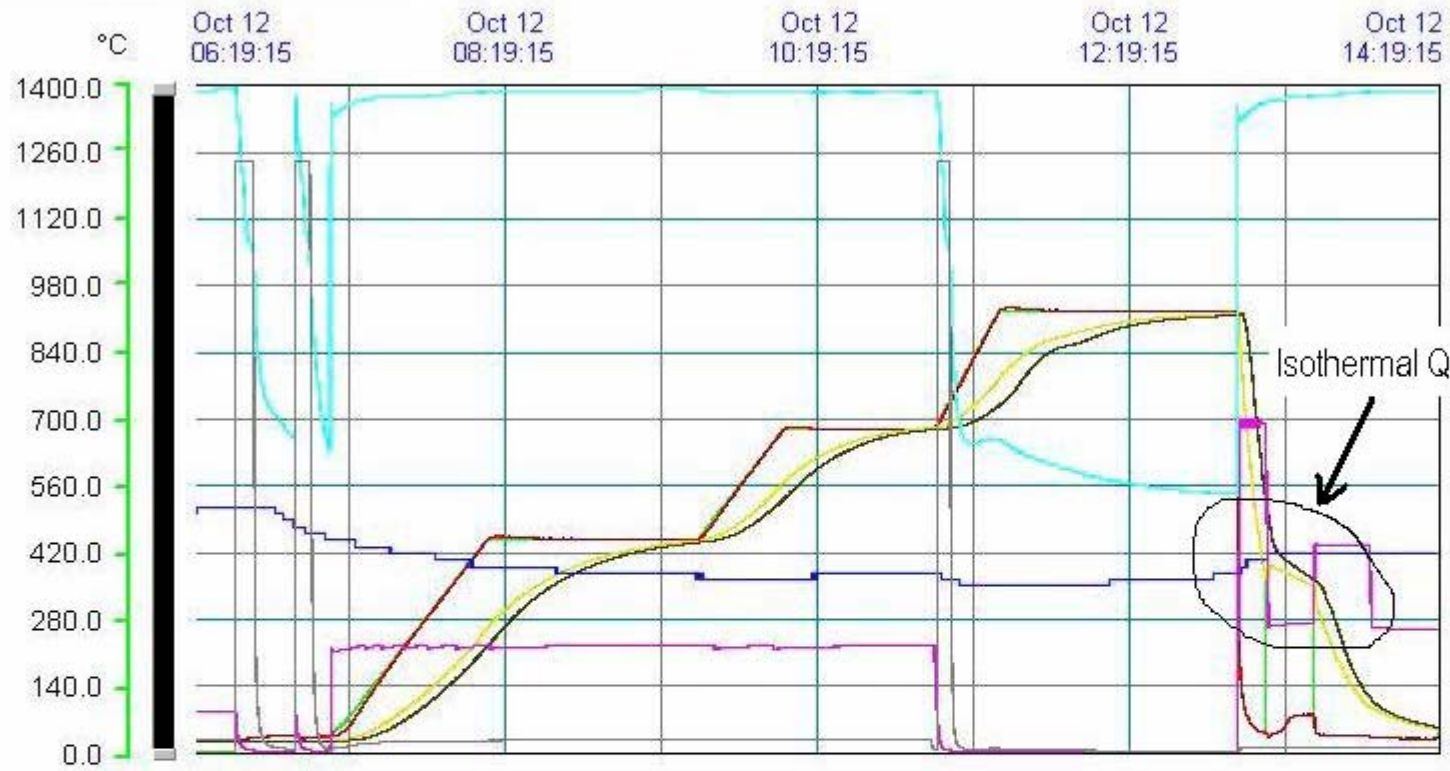
Dependente de elevadas velocidades de resfriamento

*Martempera (Isothermal Quenching) \**

(\*) – realizável no forno Seco/Warwick - Isoflama

ISOFLAMA  
tratamento térmico

# HISTORICAL DATA



WSP temp.	0.0	38.0
Furnace temp.	27.8	31.0
Load temp #1 (surface)	23.5	49.0
Load temp #2 (core)	22.9	52.0
Shell temperature	36.5	30.0
Furnace pressure	-0.0	2.0
Furnace vacuum [LOG]	$9.47 \times 10^{-2}$	$9.27 \times 10^{-2}$
Partial pressure	0.3017	0.1221

06:19:15

06:19:15 Zoom In 8h

4 hours 1 hour 1 minutes

Alcoa - VMO com Isothermo Quenching (Martempera)



# O Tratamento Térmico sob Vácuo

## Características do Forno a Vácuo

- Aquecimento uniforme – rampas predefinidas
- Controle do aquecimento e resfriamento
- Aquecimento com nitrogênio e/ou sob vácuo
- Resfriamento sob pressão de gás nitrogênio
- Possibilidade de martempera
- Proteção contra descarbonetação

ISOFLAMA

tratamento térmico

# O Tratamento Térmico em Vácuo

## Que tipos de aços o forno a vácuo pode temperar?

- O forno a vácuo **NÃO** consegue temperar todos os tipos de aços, mesmo os fornos mais modernos. A elevada pressão de resfriamento não tempera os aços de baixa temperabilidade
  - Aços “temperáveis” no forno a vácuo: TQ – TF – AR – Inox Martensíticos

## Forno a vácuo garante tempera sem deformação?

- Não! O forno a vácuo garante melhores resultados dimensionais, em termos de distorção total, em função de fatores como: aquecimento e resfriamento uniforme, homogêneo e ausência de manuseio. Distorção / Deformação é ocorrência natural para qualquer tipo de tratamento térmico

tratamento térmico

# O Tratamento Térmico em Vácuo

**O TT em vácuo produz melhores propriedades mecânicas, comparado a outros tipos de processos?**

- Em princípio, isso não necessariamente pode ocorrer se respeitadas as limitações do forno a vácuo: tipo de aço e ciclo térmico desenvolvido.

**Ocorre Descarbonetação no Forno a vácuo ?**

- Não! Os equipamentos atuais trabalham com um nível de vácuo da ordem de  $10^{-2}$  mmbar e, nessas condições o pouco oxigênio disponível reage com os elementos de grafite de aquecimento do forno



# O Tratamento Térmico sob Vácuo

**O processo de TT em vácuo pode resultar em menor prazo de execução do serviço?**

➤ Não, em função das características de controle do aquecimento e resfriamento do forno

**O TT em vácuo é melhor para executar a Nitretação, posteriormente ?**

➤ Sim! Em função da não ocorrência dos fenômenos como Descarbonetação e Oxidação na superfície do aço.

**O processo de TT em vácuo ocorre completamente sob vácuo?**

➤ Para Recozimento, ou Alívio de Tensão, por tratar-se de resfriamentos lentos, o ciclo completo é sob vácuo. Na têmpera, depois de realizado o vácuo, injeta-se o gás nitrogênio sob elevada pressão que pode alcançar 20 bar em fornos mais modernos

## 10 Motivos para utilizar a Têmpera e Revenimento a Vácuo no forno “Isoflama”

- Pressão de resfriamento 12 bar (garante altas taxas de resfriamento = martensita à maior profundidade)
- Altas taxas de resfriamento à maior profundidade (martensita à maior profundidade)
- Uniformidade de microestrutura à maior profundidade
- Homogeneidade microestrutural = potencialização de propriedades mecânicas
- Monitoramento dos parâmetros de tratamento térmico (temperatura e tempo) da superfície e núcleo através de um corpo de prova. Isso garante cumprimento correto das recomendações do fabricante do aco-ferramenta.
- Possibilidade de executar o tratamento térmico denominado Martempera “Isothermal Quenching” (uniformidade de transformação microestrutural, menor deformação e menor risco de desenvolvimento de trincas)
- Controle de processo “*passo a passo*” de todos os parâmetros de tratamento térmico: temperatura, tempo, diferenças de temperatura entre núcleo e superfície, etc...
- Monitoramento à distância (“on line”) do processo em execução.
- Revenimento a vácuo. Resfriamento com turbina “*turbo-cooler*”.
- Repetibilidade de resultados metalúrgicos (mesmos parâmetros de processo repetidos “*carga a carga*”)

ISOFLAMA  
tratamento térmico

# Bibliografia

1. Princípios de Ciência dos Materiais – Lawrence H. Van Vlack – Ed.USP, 1970
2. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns – Hubertus Colpaert – Ed.Edgard Blucker Ltda., 1974
3. Tratamientos térmicos de los aceros – José Apraiz Barreiro – Ed.Dossat Plaza de Souza Ana, Madrid, 1971
4. Aços e Ferros Fundidos – Vicente Chiaverini – Ed.ABM – 1979
5. Tratamentos Térmicos dos Aços – A.J.Pedraza; C.A.Botrel Sobrinho; E.M.Paula e Silva –Ed.UFMG, 1979
6. Microstructure and Properties – R.W.K.Honeycombe; H.K.D.H Bhadeshia – Ed.Edward Arnold, 1995

ISOFLAMA  
tratamento térmico