

ESCOLA DE ENGENHARIA  
INDUSTRIAL METALÚRGICA  
DE VOLTA REDONDA  
EEIMVR-UFF

**Laboratório de Tratamentos Térmicos**

# Tratamentos térmicos e termo-químicos

- Reozimento
- Normalização
- Têmpera
- Revenimento
- Cementação
- Nitretação

# Tratamentos Térmicos

- Operações de aquecimento de um material a uma dada temperatura e esfriamento após certo tempo, em condições controladas, com a finalidade de dar ao material propriedades especiais.
- São executados por alteração da velocidade de esfriamento e da temperatura de aquecimento ou da temperatura a que são esfriados ou de ambos.

# Possibilidade de Tratamento Térmico

- Devido a:
  - Recristalização
  - Modificação de fase

# Recristalização

- Ocorre para os materiais e ligas a diferentes temperaturas.
- Deve apresentar um mínimo de **encruamento** e ser aquecido à **temperatura adequada**.

# Modificação de fase

- Ocorre em muitas ligas metálicas com a temperatura, no estado sólido.

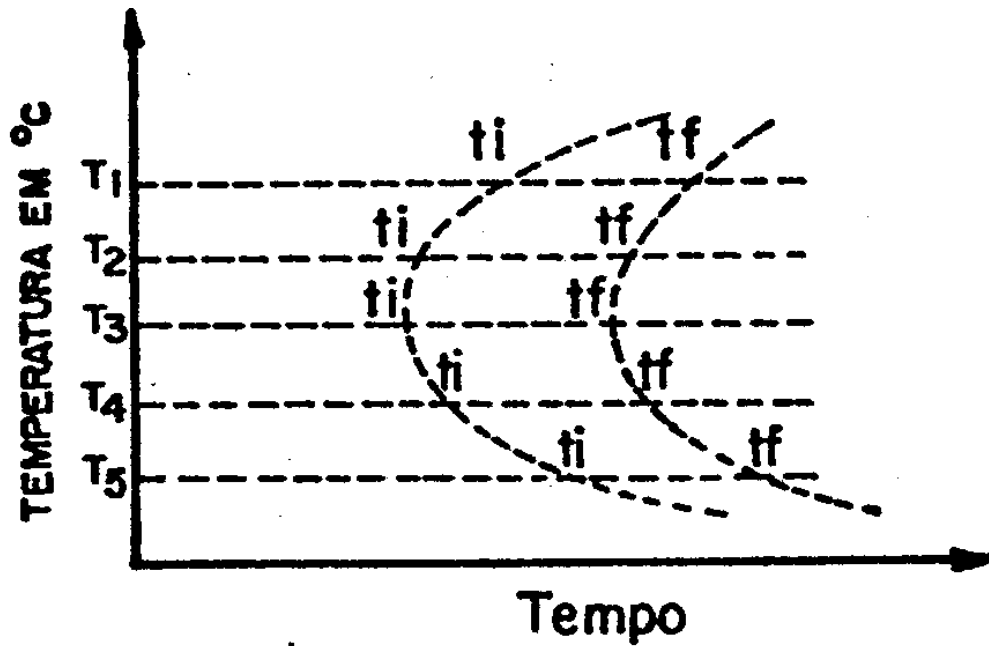
# Ligas que podem ser tratadas - I

- Ligas com eutetóide e modificação de fase
  - Ferro-Carbono
  - Cobre-Alumínio
  - Cobre-Estanho

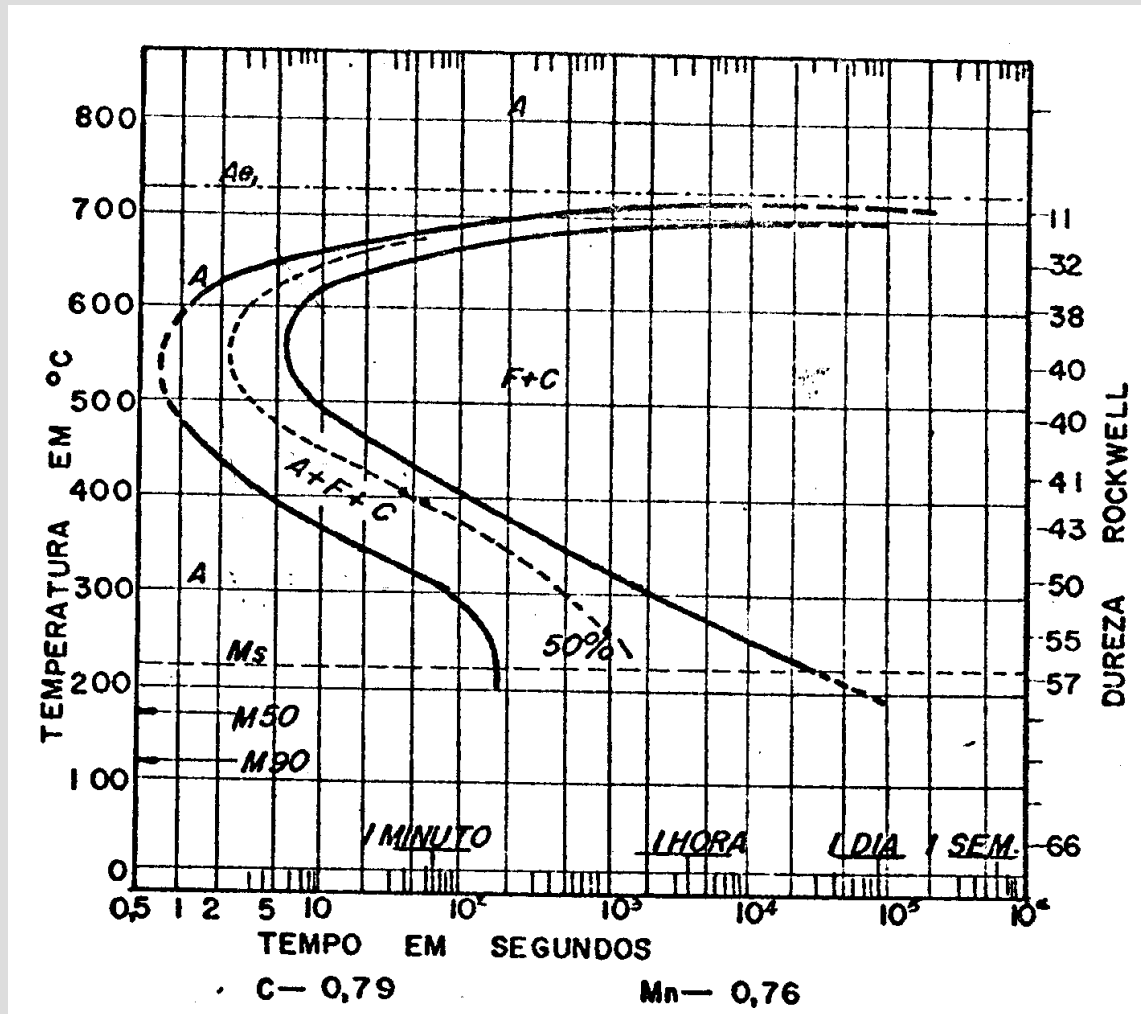
# Ligas que podem ser tratadas - II

- Ligas com modificação de solubilidade
  - Ferro-Carbono
  - Alumínio-Cobre
  - Cobre-Prata
  - Cobre-Cromo

# Curvas TTT - construção



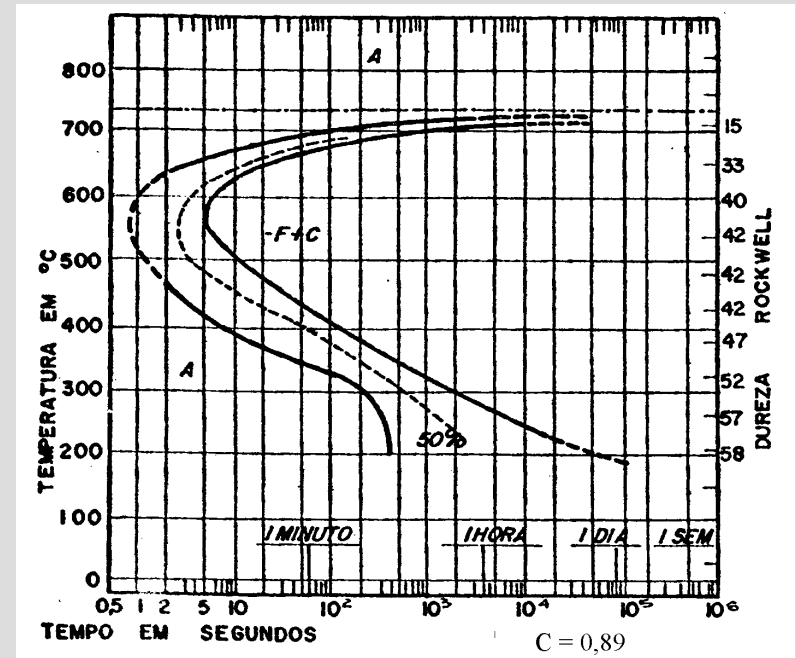
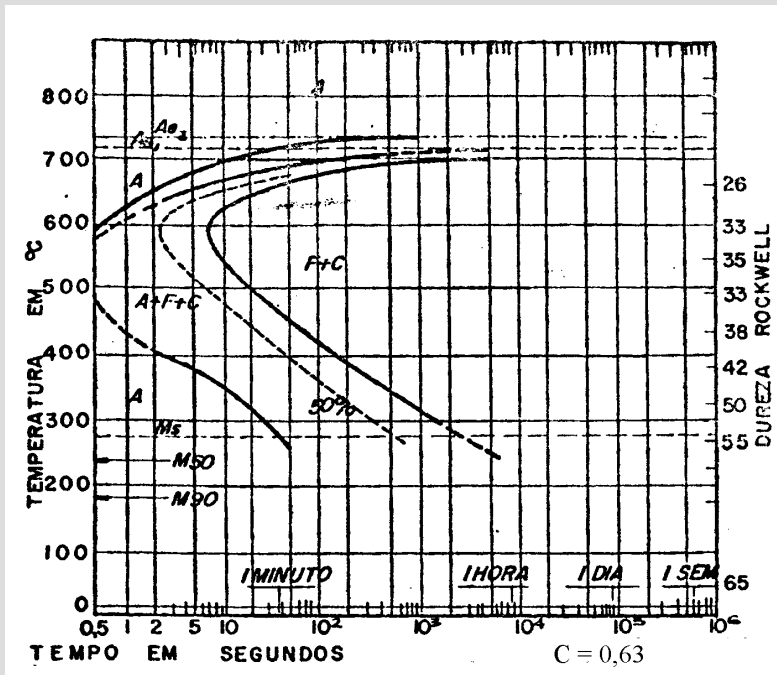
# Curva TTT - exemplo



# Fatores que influenciam as curvas TTT

- Composição química
  - Em geral, com o aumento do teor de carbono, a curva desloca-se para a direita (com exceção do Co, os elementos de liga agem como o carbono)
- Tamanho de grão
  - Quanto maior o tamanho de grão, mais demorada será a transformação total da austenita, deslocando a curva para a direita

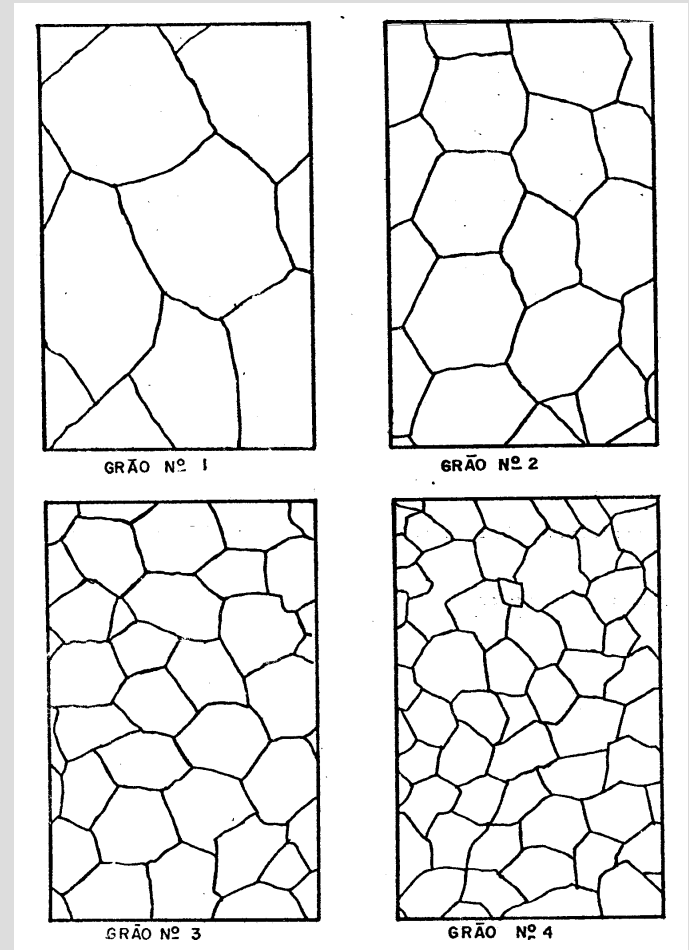
# Influência da composição química



# Tamanho de grão austenítico

O material com granulação grosseira apresenta em geral propriedades inferiores às do mesmo material com granulação fina, à temperatura ambiente.

É determinado por comparação direta ao microscópio metalográfico

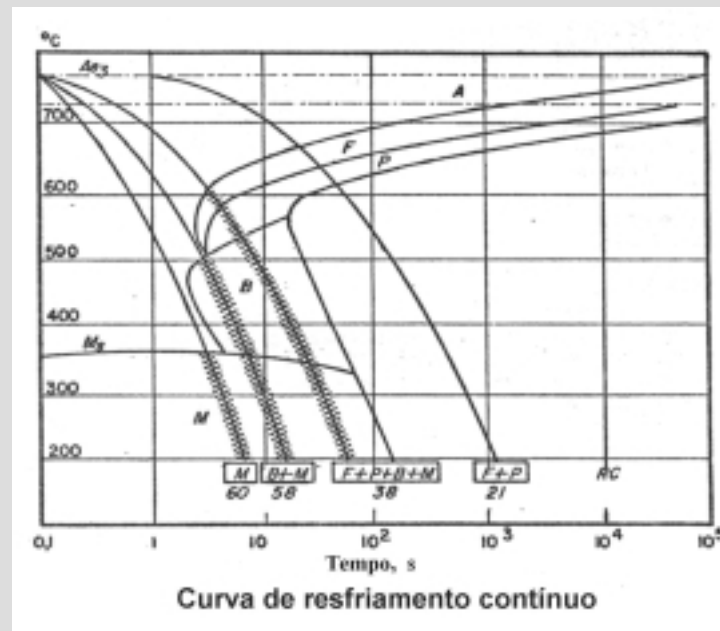


# Fatores de influência no TT

- Velocidade de aquecimento
- Temperatura de tratamento
- Encharque
- Velocidade de esfriamento
- Atmosfera do forno

# Curvas de esfriamento contínuo

- São as curvas onde se obtém as estruturas finais dos materiais tratados termicamente



# Recozimento I

- Finalidade
  - regularizar a estrutura bruta de fusão, possibilitando maior homogeneidade aos materiais fundidos.
  - regularizar as estruturas de materiais deformados a frio, regularizando ou eliminando tensões existentes

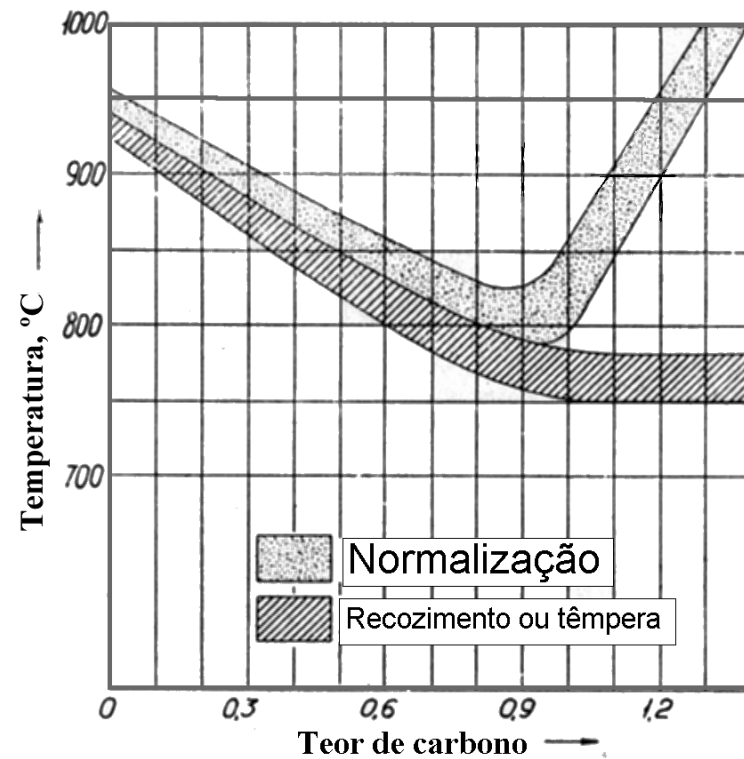
# Recozimento II

- Finalidade
  - regularizar a estrutura proveniente de tratamentos térmicos anteriores
  - remover tensões devidas a irregularidades no resfriamento de diferentes partes de peças
  - eliminação de impurezas gasosas

# Recozimento III

- Método
  - aquecimento do material até uma temperatura acima da sua zona crítica, mantendo-o nessa temperatura para homogeneização e resfriando lentamente.

# Recozimento IV



Temperaturas mais adequadas à normalização, recozimento e têmpera em função do teor de carbono no aço.

# Recozimento V

- Tempo de permanência (encharque)
  - aços carbono: ~ 20 min. por centímetro de espessura.
  - aços liga: ~ 30 min. por centímetro de espessura.

# Recozimento VI

- Resfriamento
  - lento, no interior do forno desligado, de preferência.
  - quanto menor o teor de carbono, mais rápido pode ser efetuado o resfriamento (retirado do forno e mergulhado em areia, cinza, cal) ou em ar parado.
  - velocidade de  $\sim 50^{\circ}\text{C}$  por hora

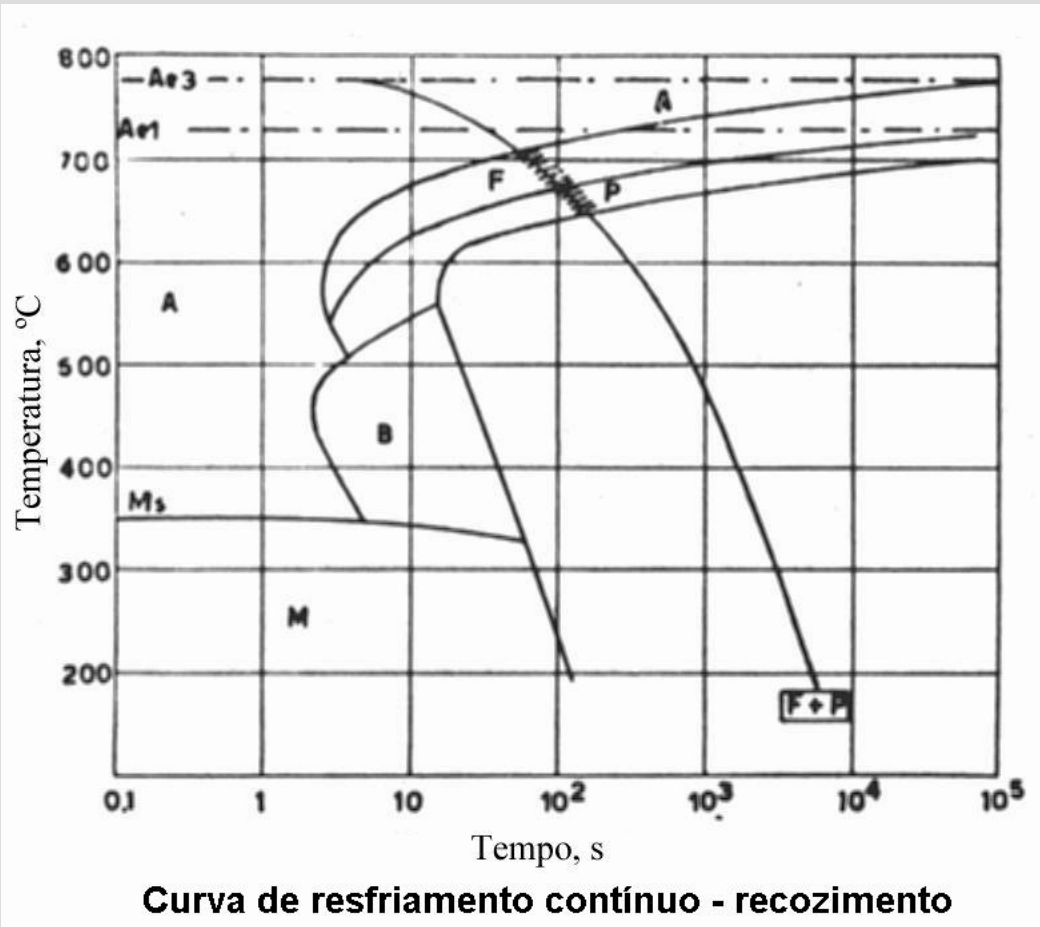
# Recozimento VII

- Cuidados no recozimento
  - controle do tempo de aquecimento
  - controle de tempo e temperatura de tratamento
  - apoio das peças no forno
  - controle da atmosfera do forno

# Recozimento VIII

- Aplicações
  - peças fundidas
  - peças encruadas

# Recozimento IX



# Normalização I

- Finalidade
  - uniformizar e refinar a granulação.
  - é obtida uma melhor homogeneização do que o recozimento pois a temperatura de tratamento é mais alta.
  - a granulação mais fina é conseguida no resfriamento mais rápido.

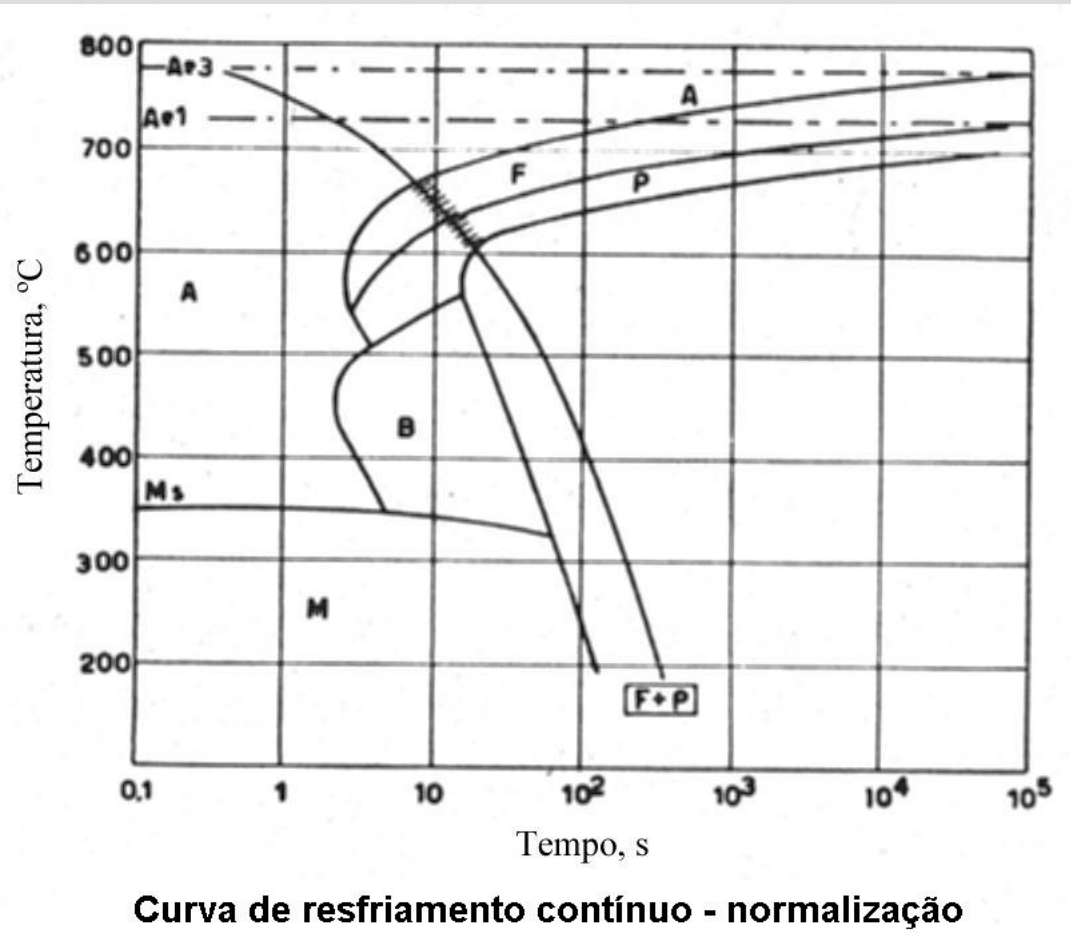
# Normalização II

- Método
  - aquecimento de um aço a temperaturas acima da sua zona crítica, mantendo-o nessa temperatura para homogeneização e resfriamento ao ar.

# Normalização III

- Aplicações
  - peças fundidas
  - peças forjadas
  - peças de grandes dimensões

# Normalização IV



# Têmpera - I

- Objetivos:
  - Aumentar a dureza
  - Aumentar a resistência mecânica
- Conseqüências:
  - Diminuição da ductilidade
  - Aumento da fragilidade
  - Aumento da resistência ao desgaste

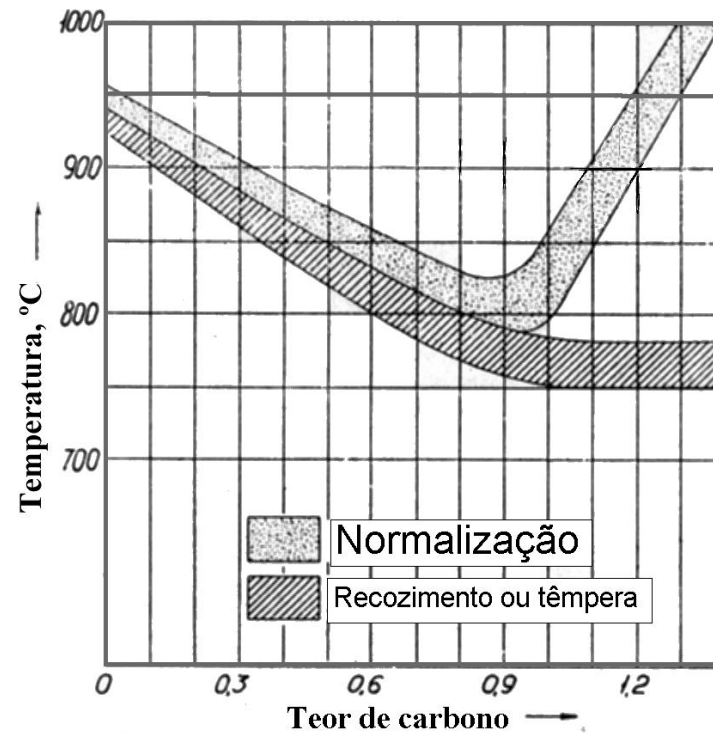
# Têmpera - II

- Método:
  - Aquecimento a temperatura acima da zona crítica
  - Manutenção à temperatura de tratamento para homogeneização
  - Resfriamento brusco - fator mais importante, que influenciará nas propriedades finais do material - de forma a obter-se estrutura martensítica

# Têmpera - III

- Aquecimento
  - Aços hipoeutetóides:
    - A temperatura deve, para cada caso, estar acima da linha de transformação completa (austenitização plena) - somente aços com %C > 0,4
  - Aços eutetóides e hiperutetóides
    - A temperatura deve estar acima de 723°C (+50°C)

# Têmpera - IV



Temperaturas mais adequadas à normalização, recozimento e têmpera em função do teor de carbono no aço.

# Têmpera - V

- O tempo de homogeneização deve ser o suficiente para a completa austenitização do material.
- O tratamento deve ser realizado em atmosfera controlada para evitar-se a descarbonetação superficial, muito prejudicial ao material

# Têmpera - VI

- Resfriamento
  - O mais rápido possível, desde que não interfira ou prejudique o material ou a peça (velocidade crítica de resfriamento)
  - É realizado em meios tais como:
    - água
    - óleo
    - salmoura

# Têmpera - VII

Meio de resfriamento	Intensidade relativa
Água a 20°C	1,0
Água a 40°C	0,7
Água a 80°C	0,2
Solução de NaCl @ 10%	3,0
Solução de NaOH @ 50%	2,0
Óleo mineral 20~200°C	0,3

# Têmpera - VIII

- Temperabilidade
  - Capacidade do material ser endurecido a certa profundidade
- Endurecibilidade
  - Susceptibilidade do material desenvolver estrutura martensítica

# Têmpera - IX

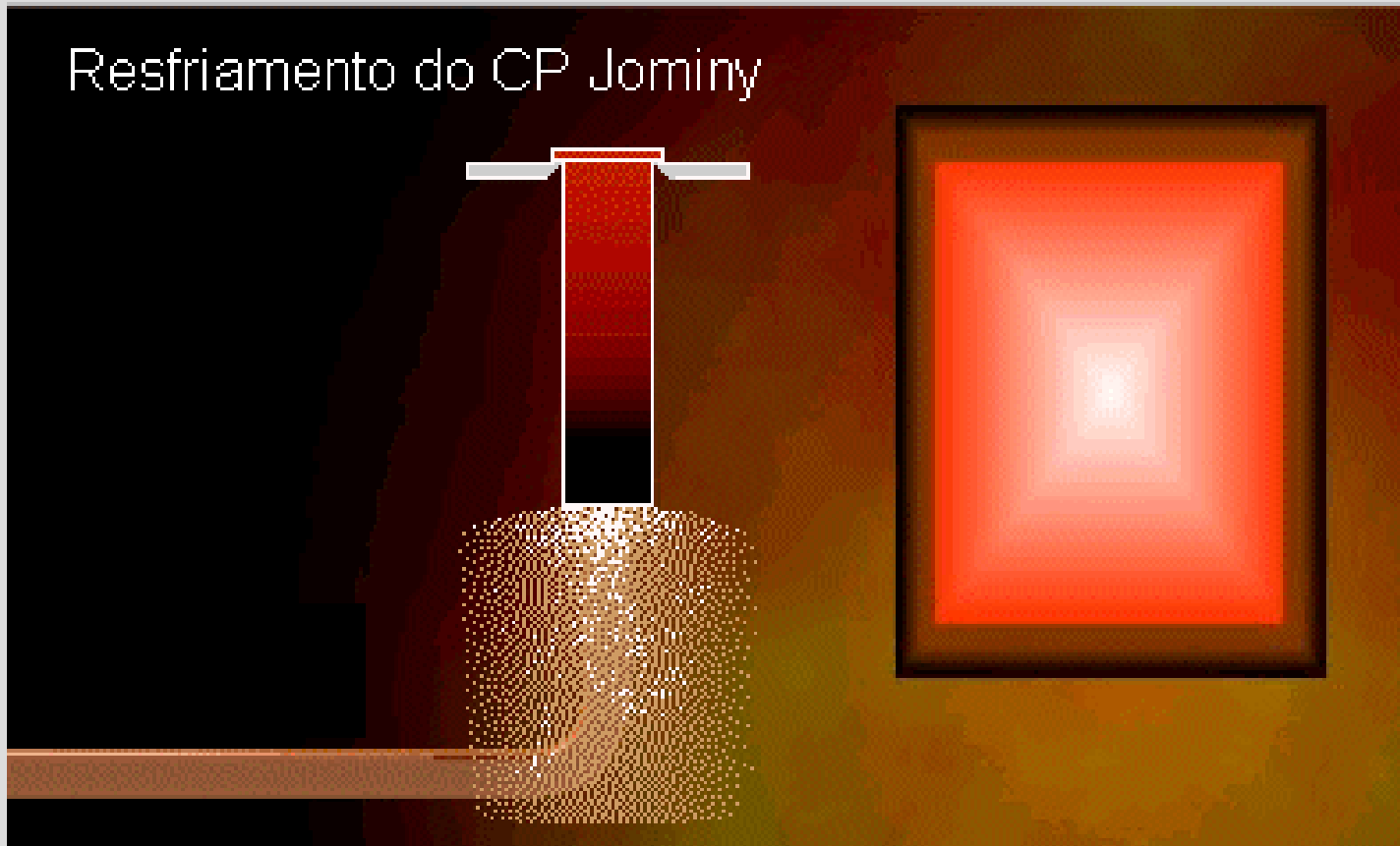
- Ensaio de Temperabilidade Jominy
  - Consiste em temperar pela base, por meio de jato de água, em dispositivo apropriado, um corpo de prova padrão; após o tratamento térmico, medições de dureza são realizadas ao longo do comprimento (verificando-se a diminuição da dureza ao longo do comprimento).

# Têmpera - X

Corpo de prova do ensaio Jominy

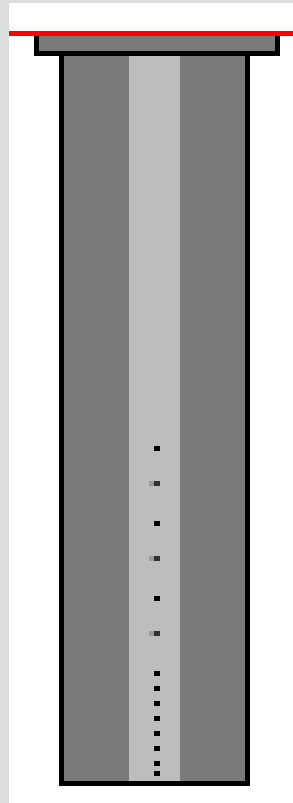


# Têmpera - XI



# Têmpera - XII

CP Jominy preparado para as medições de dureza



# Têmpera - XIII

- Ensaio de endurecibilidade Grosmann
  - Consiste em submeter à têmpera diversos corpos de prova, do mesmo material, porém de diâmetros diferentes, submetendo-os a análise metalográfica (ou ensaios de dureza) com a finalidade de determinar o diâmetro crítico.
  - Diâmetro crítico: é aquele que não apresenta o centro sem estar temperado (critério de 50%)

# Têmpera - XIV

- Têmpera superficial: realizada somente na superfície de peças acabadas (ou com pequeno sobremetal)
- Objetivo:
  - Aumento da dureza superficial, mantendo um núcleo dúctil

# Revenido - I

- Consiste no tratamento térmico após a têmpera, a temperaturas inferiores às críticas, seguido de resfriamento lento, efetivando alívio de tensões
- Objetivo:
  - Minimizar os efeitos das altas durezas (alta fragilidade)
  - Homogeneização da estrutura martensítica

# Revenido - II

- Temperatura de tratamento:
  - entre 100°C e 650°C
- Tempo de permanência:
  - Parâmetro importante pois dele (e da velocidade de resfriamento) dependerá as propriedades finais do material
- Resfriamento:
  - Normalmente realizado em óleo

# Revenido - III

- Fragilidade
  - Alguns aços apresentam após o revenimento, certa fragilidade, principalmente quando a temperatura de tratamento é da ordem de 270°C
  - A correção deste tipo de problema pode ser feita por sub-resfriamento ou por duplo revenimento

# Cementação - I

- Tratamento termo-químico que consiste em aumentar-se o teor de carbono na superfície do material, mantendo-se um núcleo dúctil
- Consiste no aquecimento e manutenção do material a altas temperaturas, em atmosfera rica em carbono (meio sólido, líquido ou gasoso), ocorrendo a difusão do carbono da superfície para o centro da peça

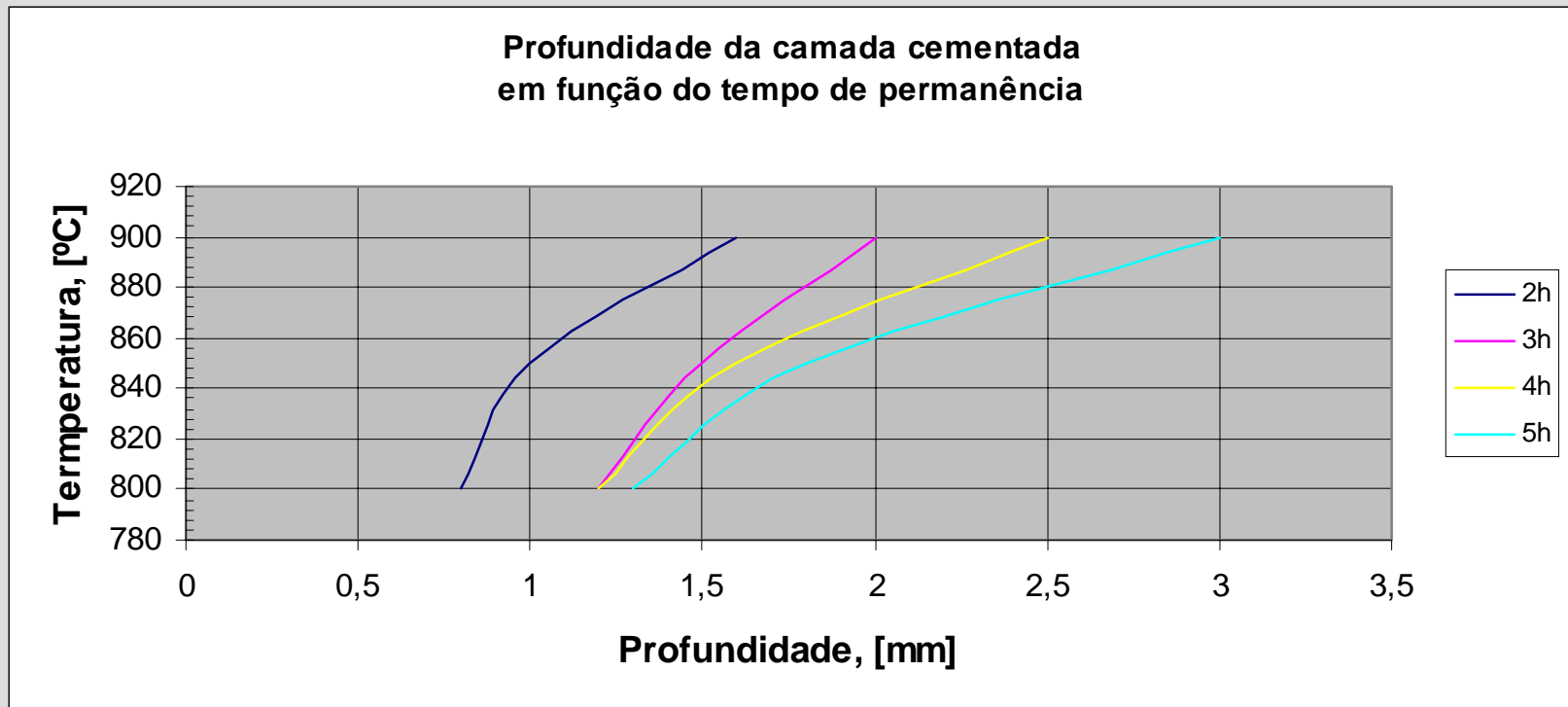
# Cementação - II

- Materiais para cementação
  - Aços com teor de carbono até 0,2%, podendo o material possuir na sua composição Mn, , Al, V, Si, Ni e Cr (esses últimos com a finalidade de facilitar a têmpera)
- Temperatura de tratamento
  - Entre 850°C e 1000°C

# Cementação - III

- Profundidade de cementação
  - Varia com a temperatura de tratamento e o tempo de permanência a essa temperatura
    - entre 0,01 até no máximo 3,0mm
- Cementação parcial
  - Uma cobertura de cobre depositado eletroliticamente possibilita a cementação das partes não cobertas

# Cementação - IV



# Cementação - V

- Resfriamento
  - Em geral, as peças são resfriadas ao ar
- Tratamentos posteriores
  - Normalização
  - Têmpera (de acordo com a constituição da parte periférica)

# Cementação - V

- O controle da profundidade é em geral realizado com corpos de prova colocados junto às peças (de mesmo material das mesmas), que são retirados de tempos em tempos para confirmação
- Processo dispendioso pois o consumo de energia e mão de obra é alto

# Nitreção - I

- Objetiva o endurecimento superficial de aços por absorção de nitrogênio
- É realizado em fornos com atmosfera controlada, rica em Nitrogênio (em geral  $\text{NH}_3$ )

# Nitreção - II

- Vantagens
  - A temperatura de tratamento é inferior à da cementação
  - As peças apresentam-se nas dimensões e acabamento finais
- Desvantagens
  - O tempo de permanência é grande
  - A espessura da camada cementada é muito pequena

# Nitretação - III

<b>Tempo, [h]</b>	<b>Espessura, [mm]</b>
10	0,1
25	0,2
40	0,3
50	0,4
65	0,5
96	0,8

Influência do tempo  
de nitretação para um  
aço ao cromo

# Nitretação - IV

- Aços para nitretação
  - São utilizados aços com teores de carbono entre 0,13 e 0,40%, podendo ter adições de alumínio (essencial), cromo, silício, tungstênio e vanádio.
- Tratamentos térmicos anteriores
  - Têmpera e revenido

# Nitreção - V

- Nitreção parcial
  - As partes das peças que não se queira tratar são cobertas por estanho ou liga estanho-chumbo (80-20)
  - Podem ser cobertas com cobre (com espessuras entre 0,01 e 0,02mm)
- Controle da camada nitretada
  - Semelhante ao controle de camada cementada