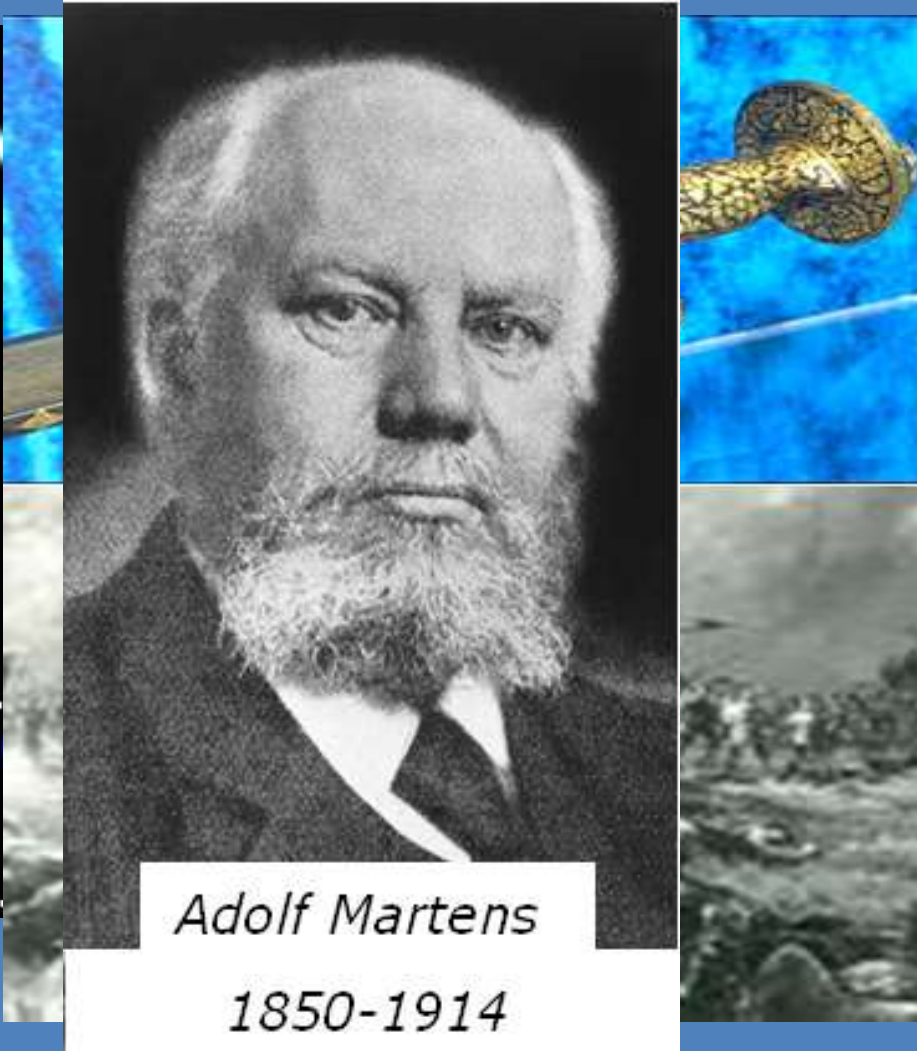




MEIOS DE RESFRIAMENTO
LAURALICE DE CAMPOS FRANCESCHINI CANALE

HISTÓRICO



Adolf Martens

1850-1914

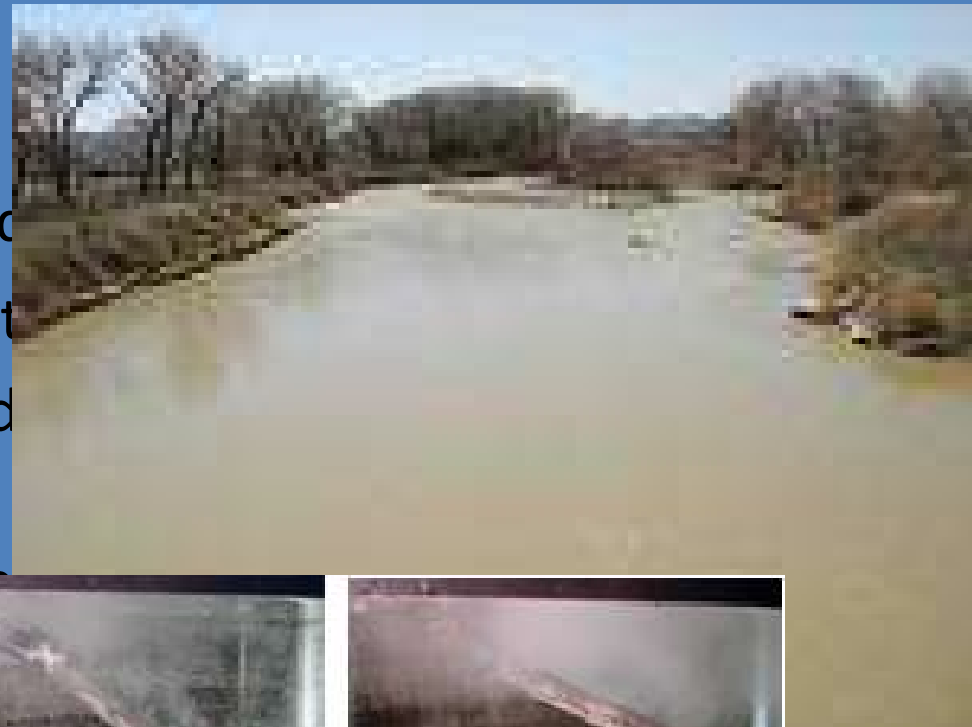
HISTÓRICO

- **Mitos: escravos**
- **Verdades:**
 - **Aço de Damasco (desde 330AC)**
 - **Espadas e facas feitas em Toledo (século IX)**
 - **Outros meios de resfriamento**



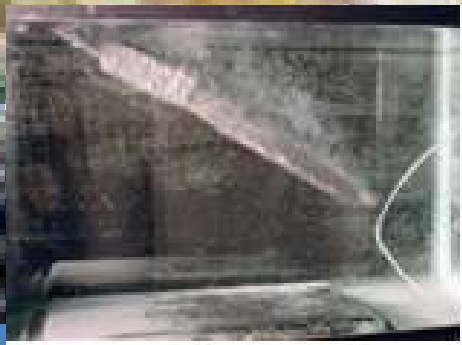
HISTÓRICO

- CHINA



(e

ad
n t
ad



A têmpera e os meios de resfriamento

Processo de têmpera envolve dois processos diferentes, com mútua interação entre eles:

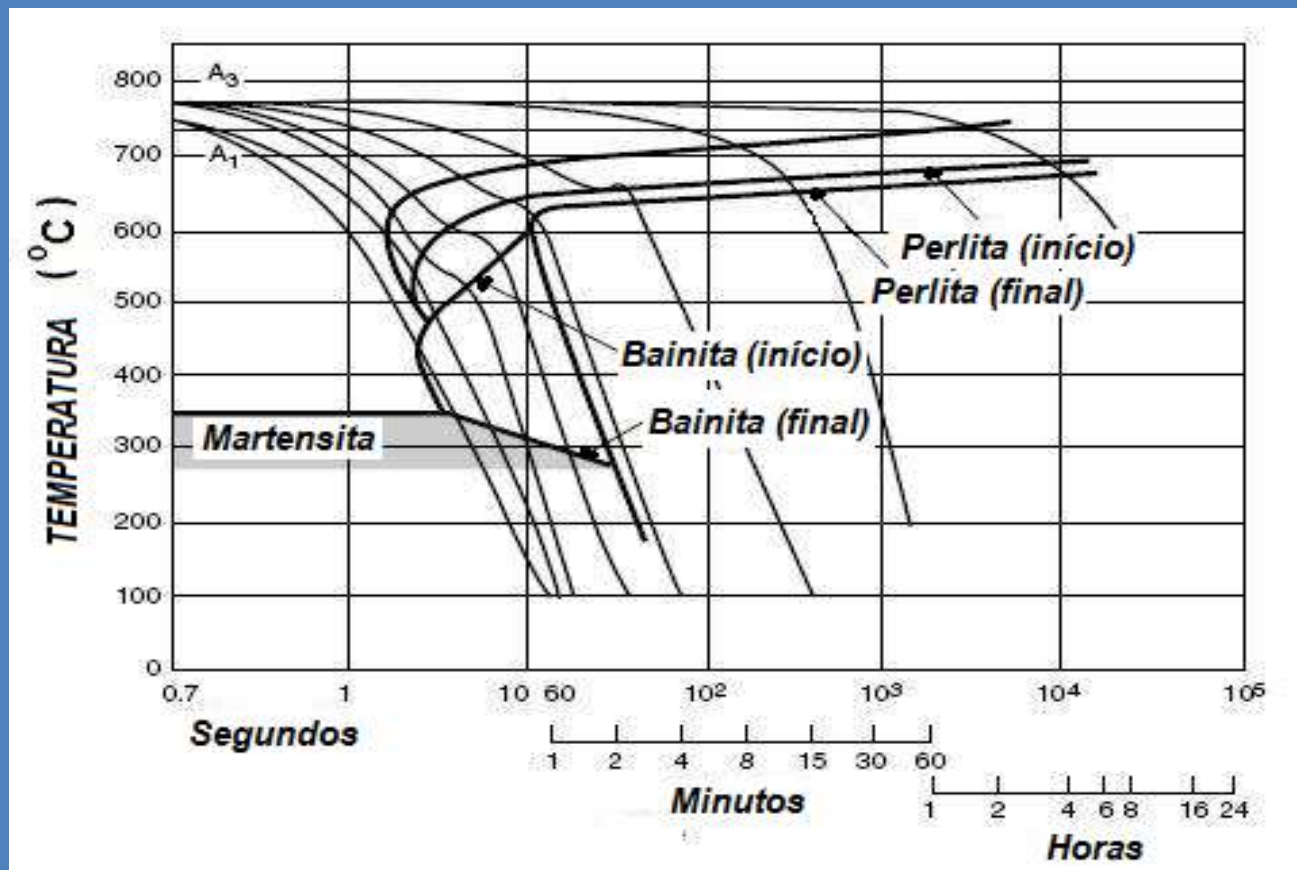
- **DINÂMICA DA TAXA DE EXTRAÇÃO DE CALOR**

Constante mudança do fluxo de calor dentro da peça e da transferência de calor na superfície

- **CINÉTICA DA TRANSFORMAÇÃO DE ESTRUTURAS**

Mostrada para cada composição de aço pelo seu respectivo diagrama CCT

Função do resfriamento



Tipos de meios de resfriamento

Seleção do meio:

Distorções

X

Taxa de transferência de calor

A técnica que gera distorções não gera altas taxas de transferência de calor e vice-versa

Tipos de meios de resfriamento

- Ar

<i>Tamanho do forno</i>	<i>Coefficiente de transferência de calor (W/m².K)</i>		
	<i>15 - bar nitrogênio</i>	<i>25 - bar hélio</i>	<i>25-bar hidrogênio</i>
<i>40.6X40.6X61 cm</i>	<i>650</i>	<i>1500</i>	<i>2000</i>

G. Belinato, L. C.F. Canale ,G. E. Totten. **Gas quenching**. In: Quenching Theory & Technology, 2nd Edition. Editors: Tensi, Canale and Totten.

Tipos de meios de resfriamento

Meios vaporizáveis

- Água
- Óleo
- Soluções de polímero
- Soluções de sais

Canale, L. C. F.; Crnkovic, O. R.; Canale, A.C.; Groessles, J. B. (1996). **Características de resfriamento de soluções de polímeros para têmpera**. M&M – Metalurgia e Materiais, 52 (455), 4p.

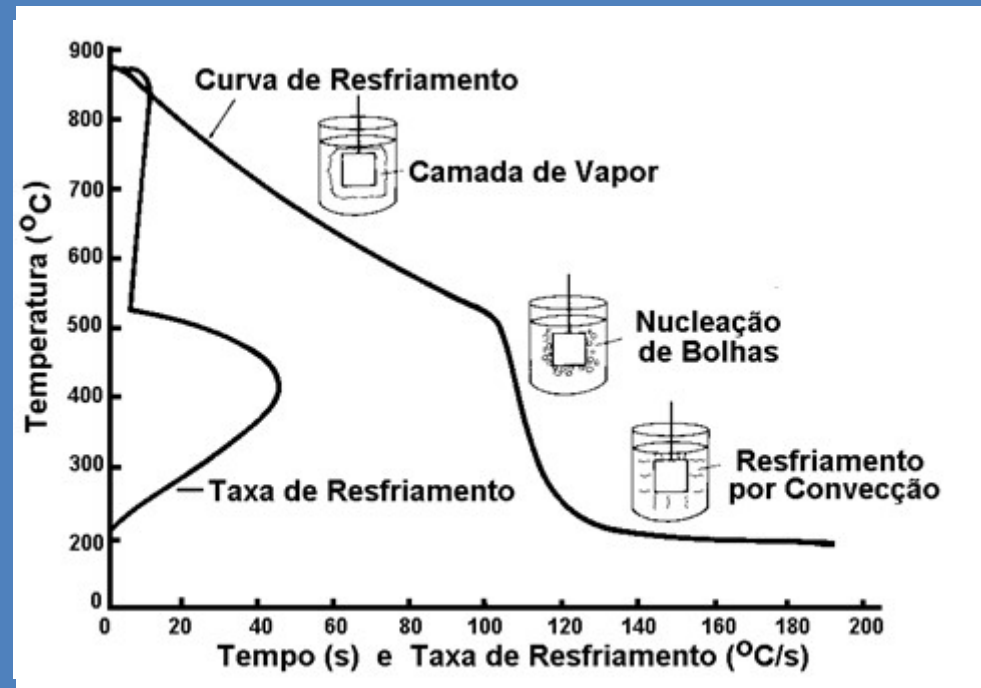
Canale, L. C. F.; Ruggieri, J. E.; Crnkovic, O. R.; Totten, G. E. (2002). **Quenching oils: classification of quench severity**. Heat Treatment of Metals, China, 27(2), 4p.

Canale, L. C. F.; Totten, G. E. (2005). **Quenching technology: a selected overview of the current state-of-art**. Materials Research, 8 (4), 5p.

Estágios de Resfriamento

- A têmpera em um meio líquido pode ocorrer em três estágios:
- **1º Estágio: quando o aço é introduzido forma-se uma camada de vapor que rodeia o metal e o resfriamento se faz por condução e radiação através da camada gasosa**
- **2º Estágio: A película de vapor vai desaparecendo e dando lugar à formação e desprendimento de bolhas**
- **3º Estágio: resfriamento se dá por condução e convecção. Durante este estágio ocorre a transformação martensítica**

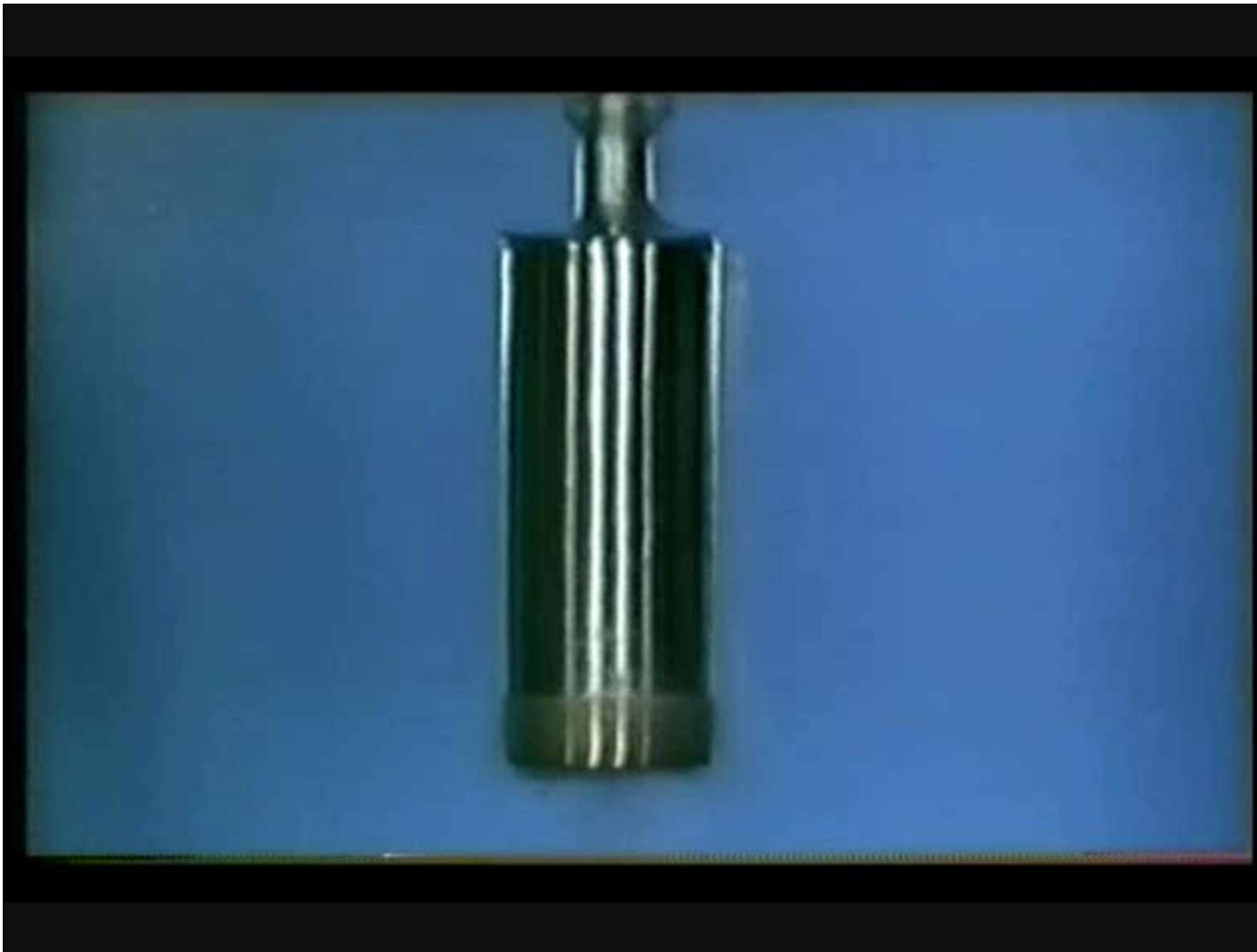
Estágios de Resfriamento



$100 - 200 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$10.000 - 20.000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

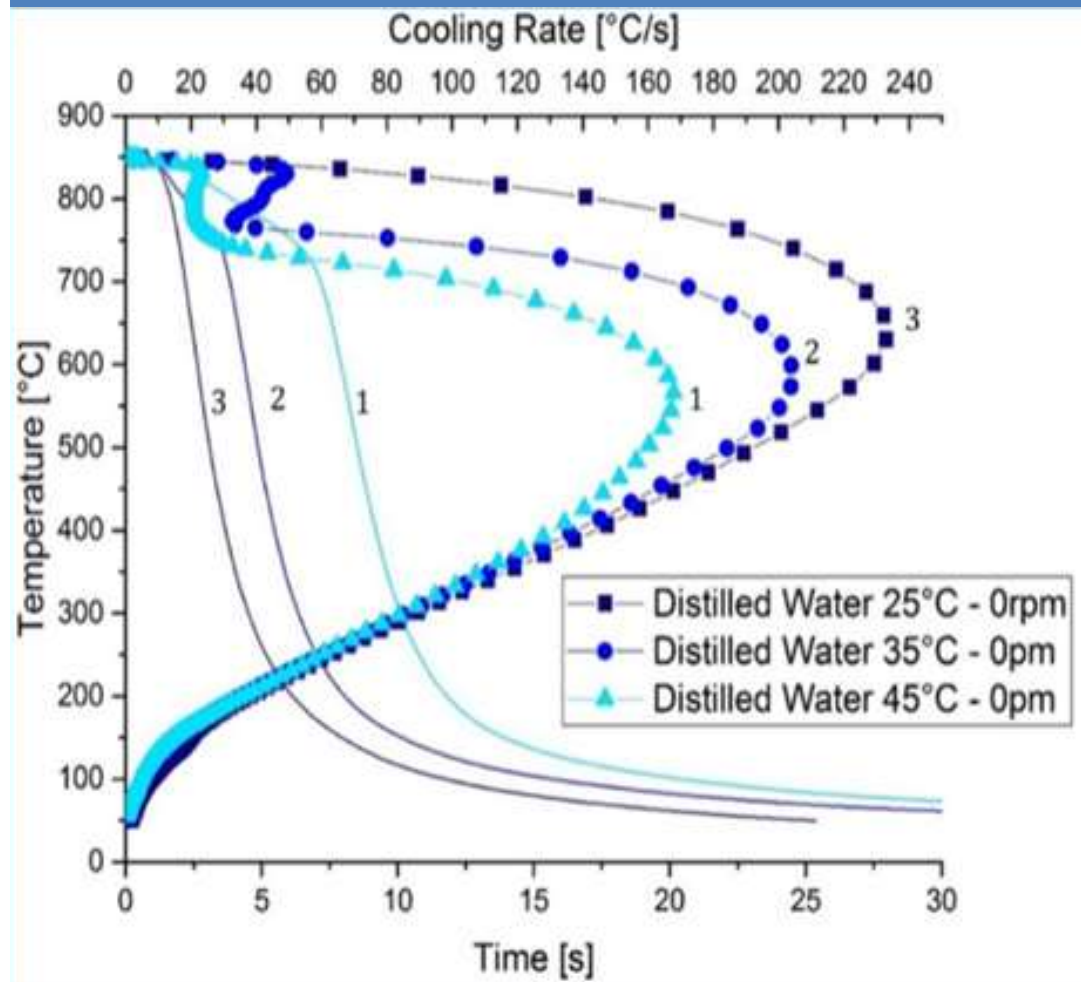
$700 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$



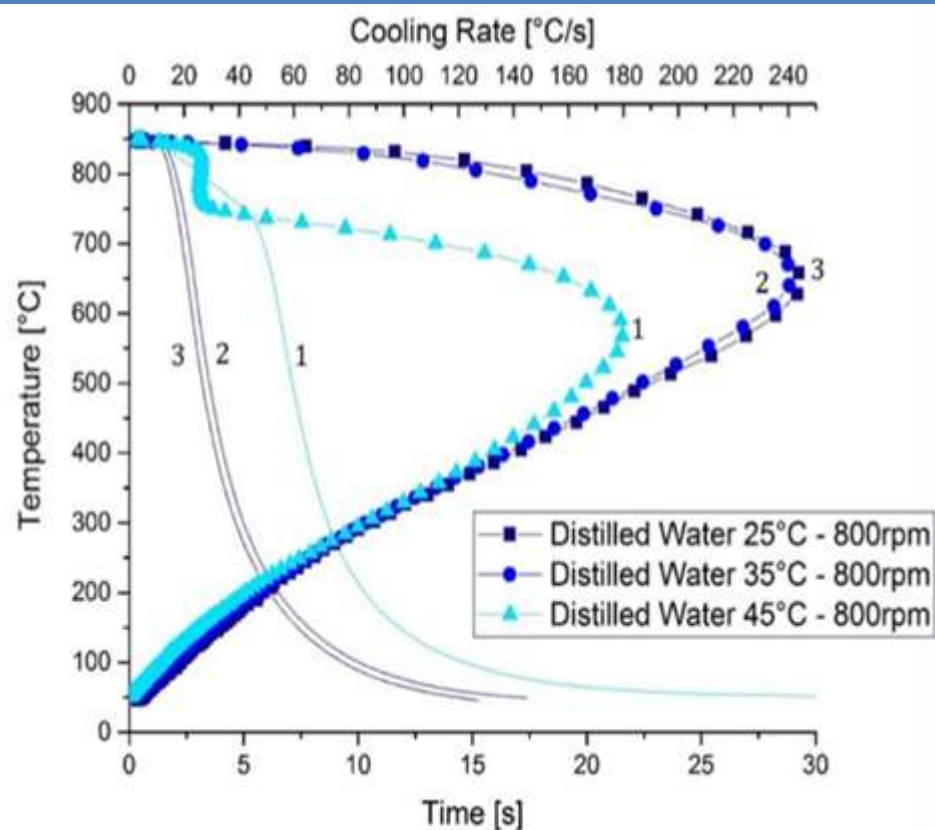




Fatores que afetam os mecanismos

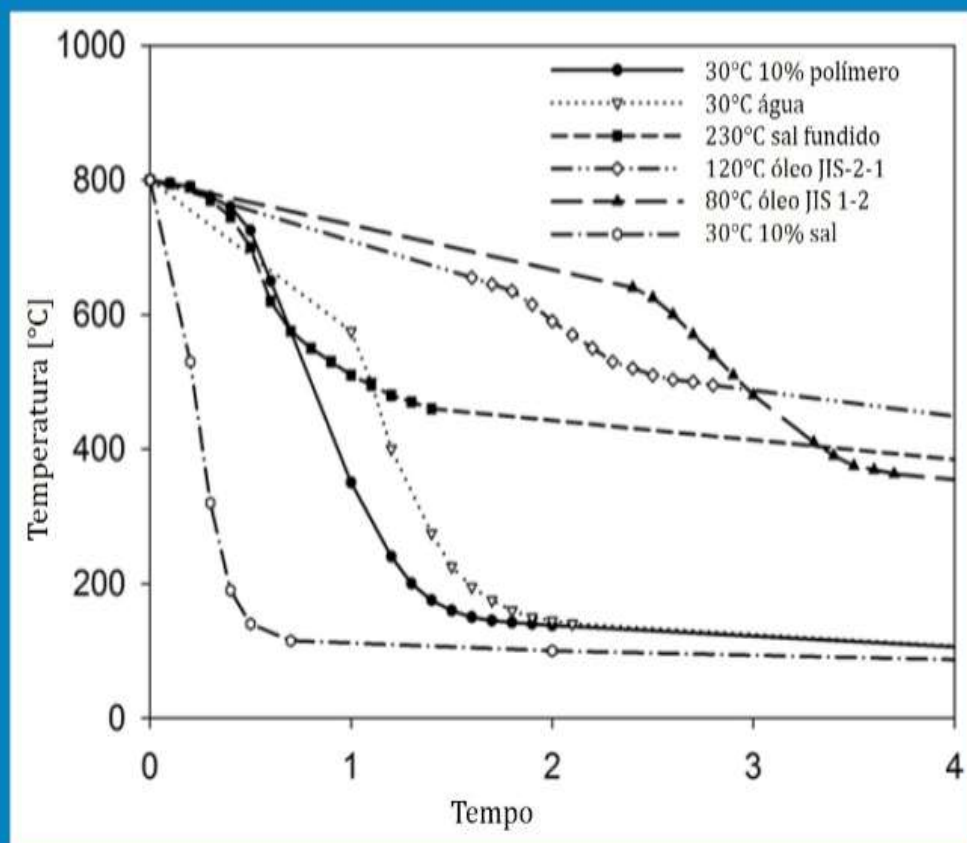


Fatores que afetam os mecanismos



Meios de Resfriamentos

Não Voláteis - metais e sais fundidos; gases
Voláteis - compostos a base de água e óleos



O poder de resfriamento pode ser descrito de muitas maneiras:

- Valor H de Grossmann

$$H = \frac{h}{2k}$$

Está relacionado à condutividade térmica do aço e ao coeficiente de transferência de calor



GROSSMAN

- valores de H

Severidade de têmpera

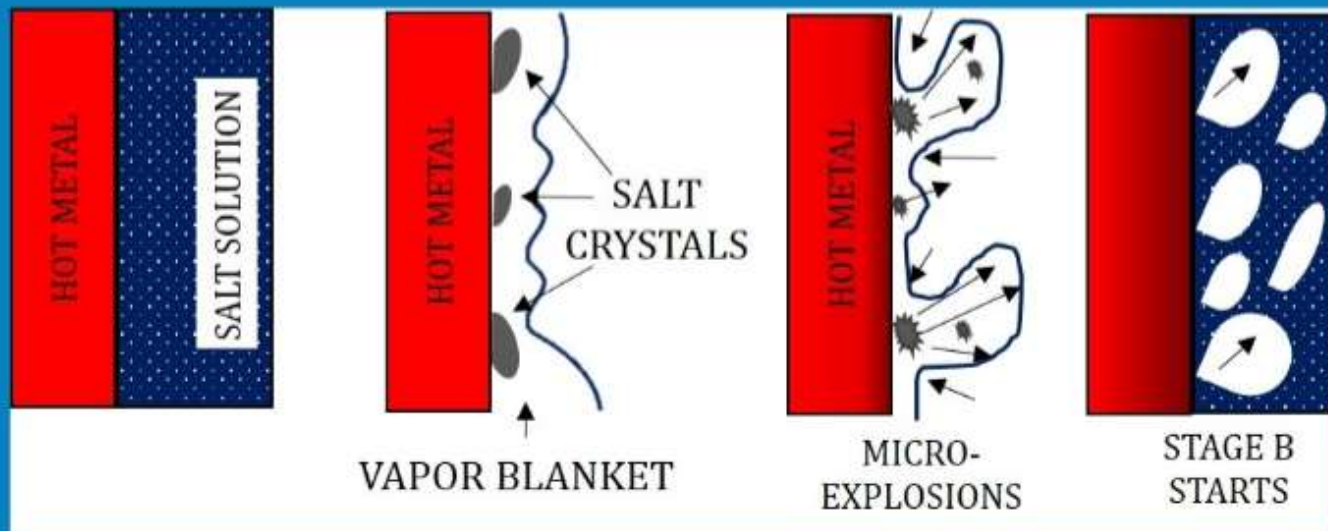
Agitação (fluido ou peça)	Óleo		Água		Salmoura	
	in. ⁻¹	mm ⁻¹	in. ⁻¹	mm ⁻¹	in. ⁻¹	mm ⁻¹
Sem agitação (circulação)	0.25	0.01	0.9	0.35		
	0.30	0.012	1.0	0.039	2	0.079
Leve a)	0.30	0.012	1.0	0.039		
	0.35	0.014	1.1	0.043	2.2	0.086
Moderada	0.35	0.014	1.2	0.047	—	—
	0.40	0.016	1.3	0.051	—	—
	0.40	0.016	1.4	0.055		
Boa	0.50	0.020	1.5	0.059	—	—
	0.40	0.020	1.6	0.063		
Forte	0.80	0.030	2.0	0.079	—	—
	0.80	0.030				
Violenta	1.10	0.043	4.0	0.15	5.0	0.20

Source: Grossman, M.A., *Elements of Hardenability*, ASM, Cleveland, OH, 1952.

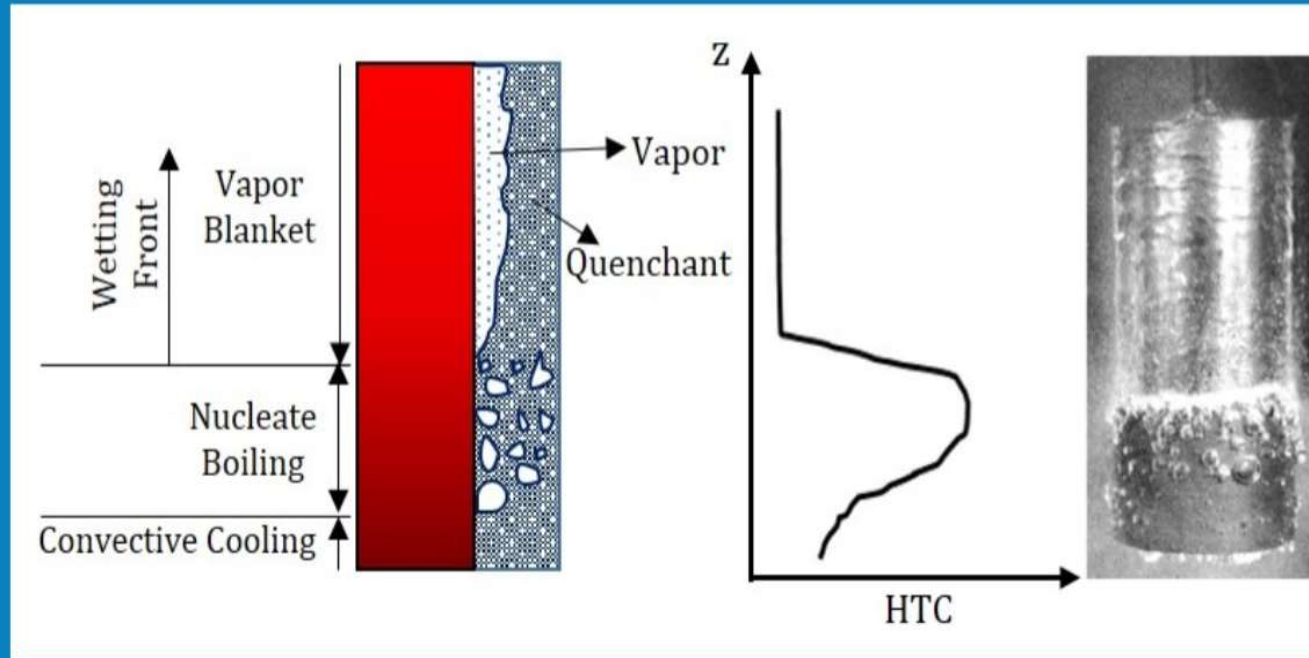
Sais

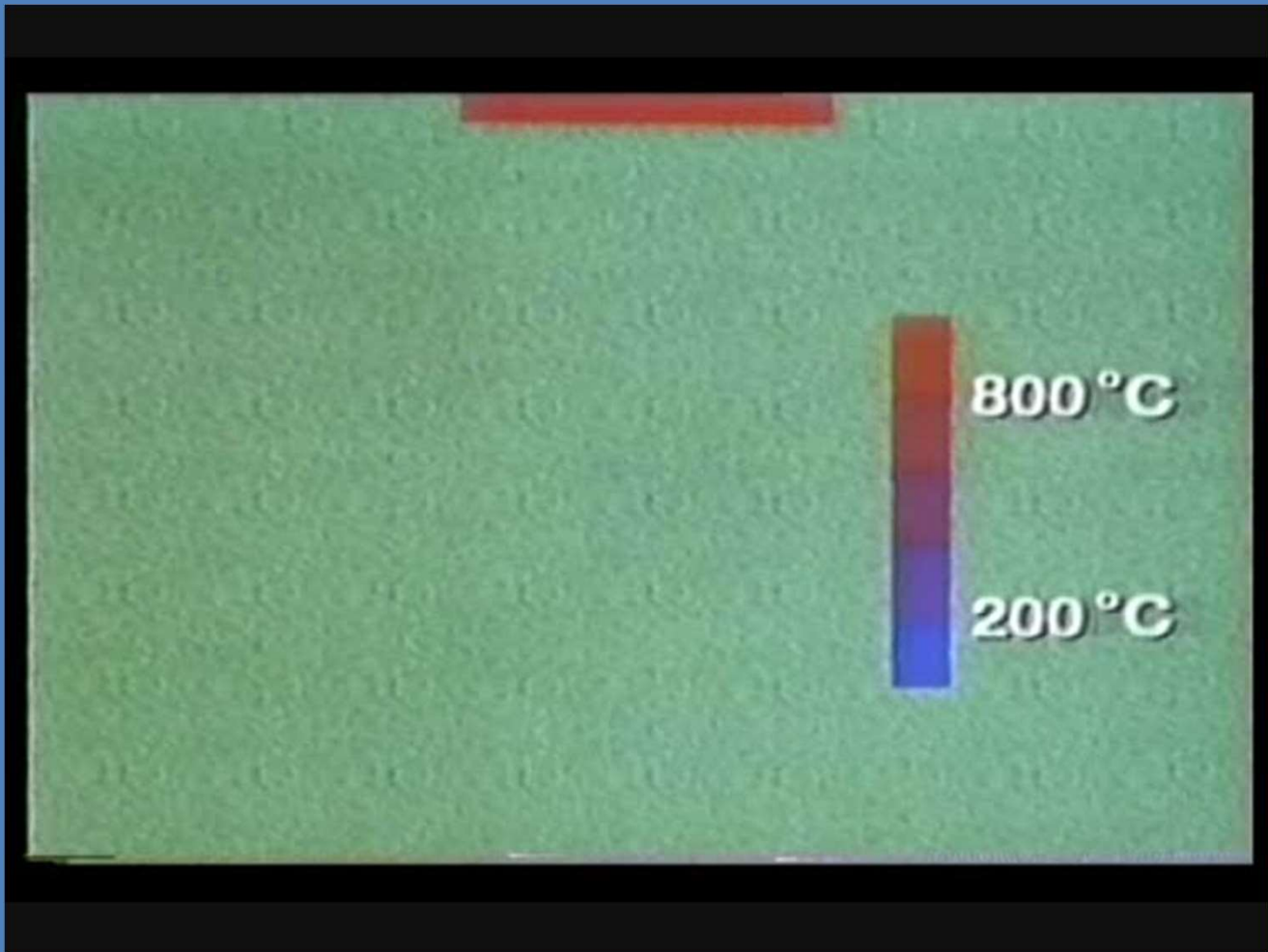
Alta severidade - Altas TX
Tóxicos ou não
Estáveis quimicamente

OBS: Poder corrosivo



Frente de Molhamento





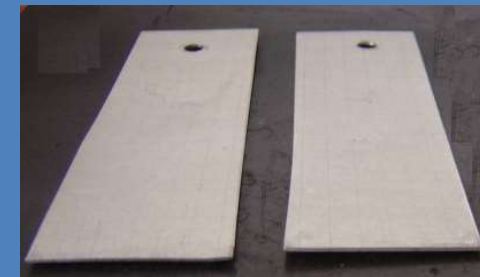
Problemas relacionados a não uniformidade

•Distorção de chapas de alumínio

Meio de têmpera: água quente a 70°C, agitação média.

Meio de têmpera : água a 30°C, agitação média.

Meio de têmpera : solução aquosa de polímero 12% a 40°C, agitação média.



Kavalco, P.; Canale, L. C. F. (2008). **Estudos de distorção, dureza e corrosão intergranular de ligas de alumínio aeronáuticas**. Relatório de iniciação científica da FAPESP. 52p. Trabalho apresentado no IV TTT (temas em tratamentos térmicos)

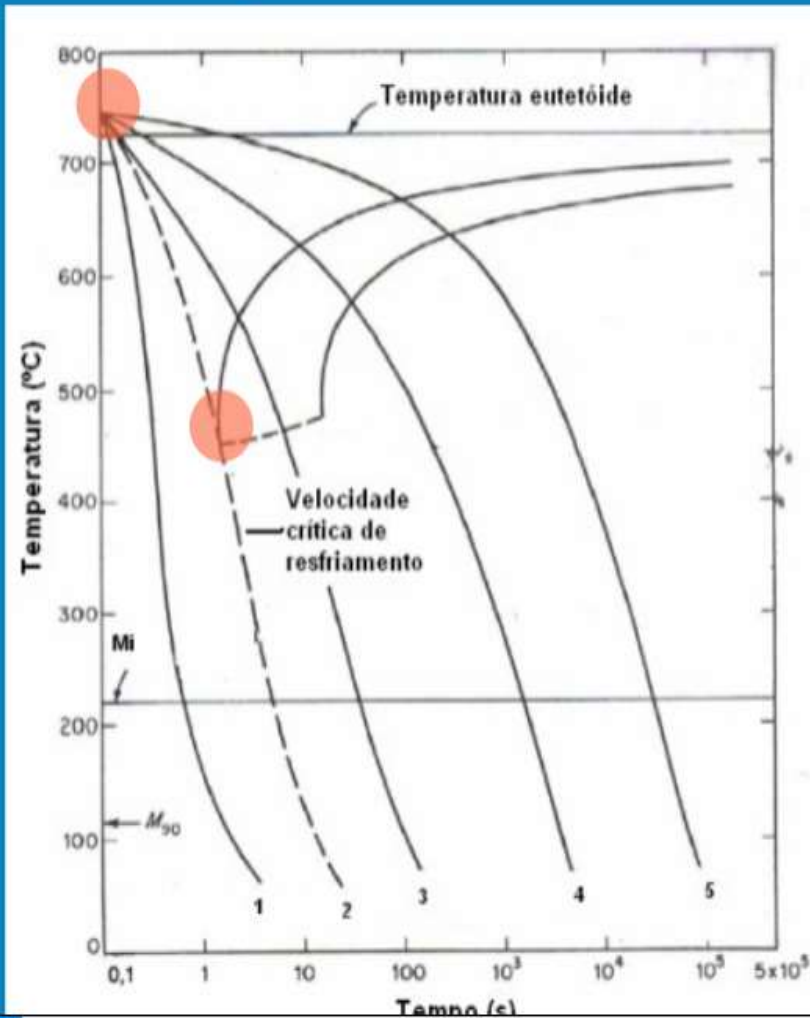
Problemas relacionados a não uniformidade

Distorções e trincas

Tensões residuais

- Expansão – Contração
- Resistência – Temperatura
- Volume da fase transformada
- Severidade – Secção

Têmpera



Taxa mínima necessária para ocorrer a transformação puramente martensítica:

$$TX_{\text{crítica}} = \frac{T_a - T_n}{t_n}$$

Normas

ASTM D6200 - Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Quenching Oils by Cooling Curve Analysis

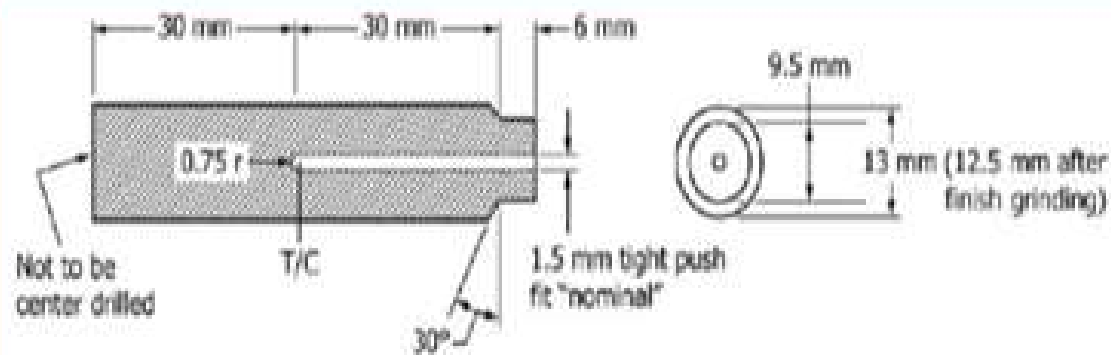
ASTM D6482 - Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Aqueous Polymer Quenchants by Cooling Curves Analysis with Agitation (Tensi Method)

Sonda

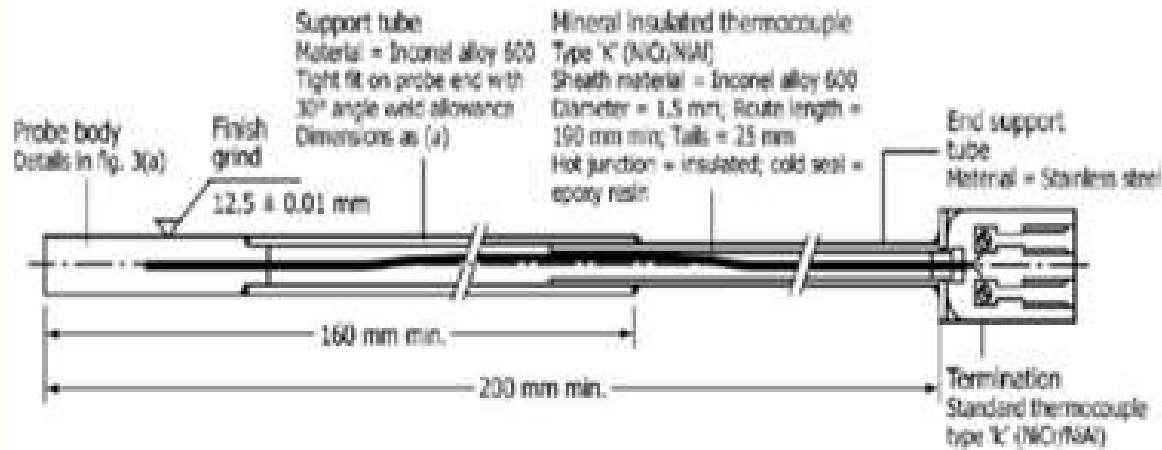
Material: aço inox 304 (tubo)
Inconel 600 (maciço)

Termopar: Tipo K - centro geométrico

Dimensões: Comprimento=4.Diâmetro



(a) Probe details



(b) General assembly

Pontos de Análise

