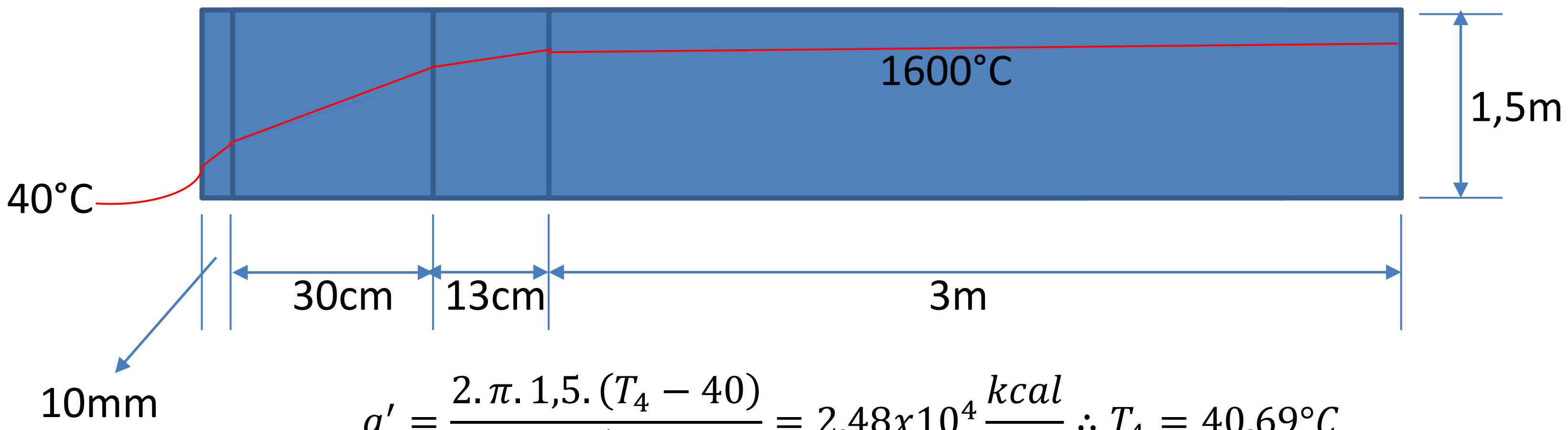
METALURGIA EXTRATIVA DOS NÃO FERROSOS

PMT 3409

Flávio Beneduce



$$q' = \frac{2.\pi.1{,}5.(T_4 - 40)}{\frac{1}{1955.1{,}94}} = 2{,}48x10^4 \frac{kcal}{h} \therefore T_4 = 40{,}69°C$$

$$q' = \frac{2.\pi.1{,}5.(T_3 - 40{,}69)}{\frac{1}{68{,}6}.\ln(\frac{1{,}94}{1{,}93})} = 2{,}48x10^4 \frac{kcal}{h} \therefore T_3 = 40{,}89°C$$

$$q' = \frac{2.\pi.1{,}5.(T_2 - 40)}{\frac{1}{0{,}3}.\ln(\frac{1{,}93}{1{,}63})} = 2{,}48x10^4 \frac{kcal}{h} \therefore T_2 = 1522°C$$

$$q' = \frac{2.\pi.1{,}5.(1600 - T_2)}{\frac{1}{2{,}76}.\ln(\frac{1{,}63}{1{,}5})} = 2{,}48x10^4 \frac{kcal}{h} \therefore T_2 = 1521°C$$

TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME PERMANENTE

- Lei de Fourier : $q" = \lambda . \frac{\Delta \mathrm{T}}{\Delta \mathrm{x}}$ condução

- Lei de Newton: $q" = \bar{h} . \Delta T$ convecção

λ = condutividade térmica

$\bar{\boldsymbol{h}}$ $(\boldsymbol{h})$ = coeficiente médio de transmissão de calor por convecção ("de película")

<u>**O fluxo é constante em qualquer porção do sistema**</u>

TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

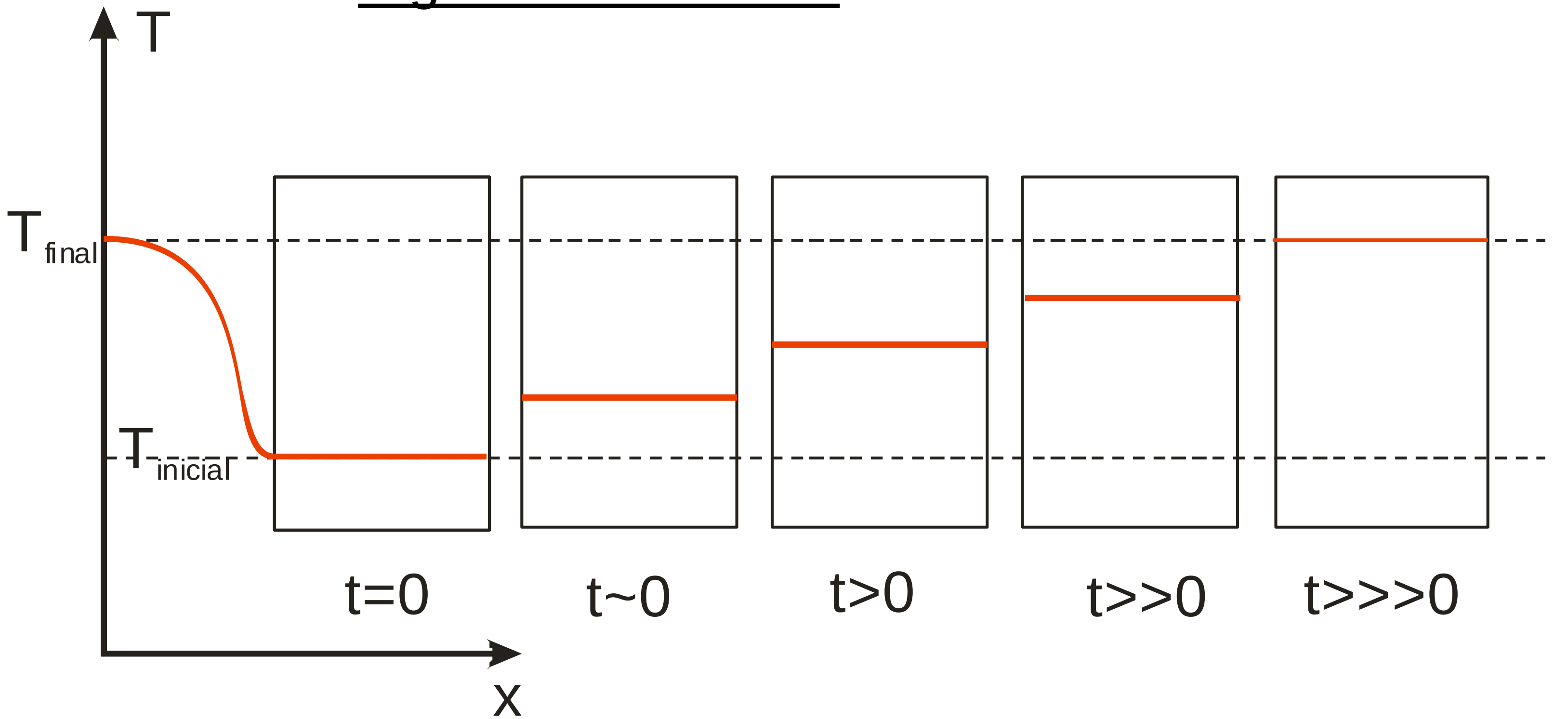
- Dados preliminares:
  - Difusividade térmica: $\alpha = \frac{\lambda}{\rho . c_p} [\frac{L^2}{T}]$

- 2ª lei de Fourier: $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha . \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ **Gradiente varia com o tempo**

- Soluções da 2ª lei de Fourier:
  - Adotam-se casos específicos

TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

- 1º caso:
  - Alta resistência no meio fluido e baixa resistência do sólido – <u>regime newtoniano</u>



TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

- 1º caso

$$\frac{T - T_f}{T_i - T_f} = \exp\left(-\frac{\bar{h}.S}{\rho.c_p.V}.t\right) = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = temp.admensional\ ou\ temp.relativa$$

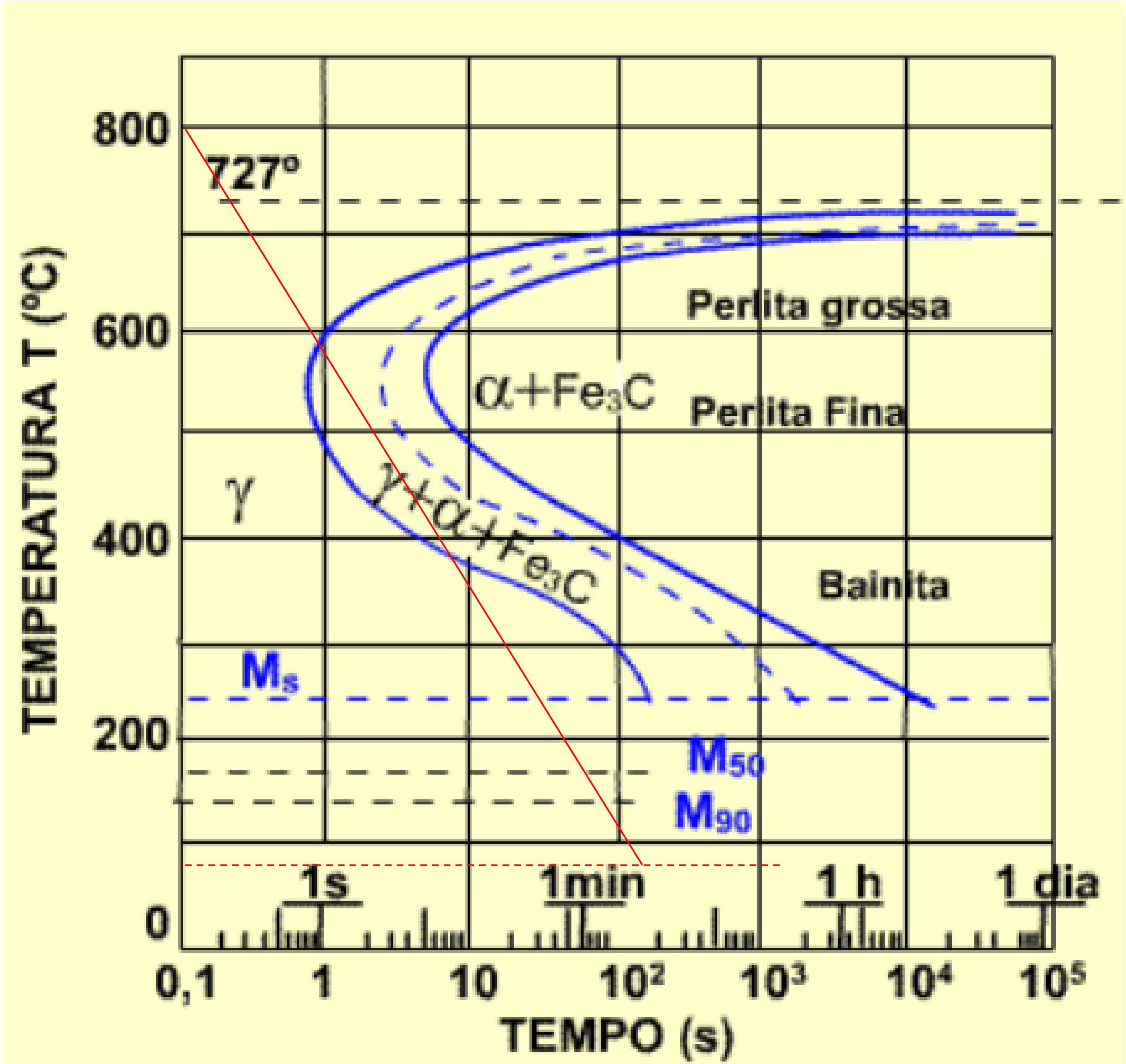
TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

Uma esfera de aço eutetóide de diâmetro de 1,3 cm a 800°C é resfriada ao ar que está a 25°C numa operação de têmpera. Calcule o tempo necessário para esfriar a esfera a 90°C.Verifique qual vai ser a microestrutura do aço. Se não for ideal, o que se deve fazer? Dados: λ=43,2W/m.K; ρ=7849kg/m^3; c_P=460J/kg.K; h_{ar}=110W/m^2.K.

$$\frac{90-25}{800-25} = \exp\left(-\frac{110.(4.\pi.0{,}0065^2)}{7849.460.\left(\frac{4.\pi.0{,}0065^3}{3}\right)}.t\right) = \frac{T-T_\infty}{T_i-T_\infty}$$

$$t = 176{,}26\ s$$

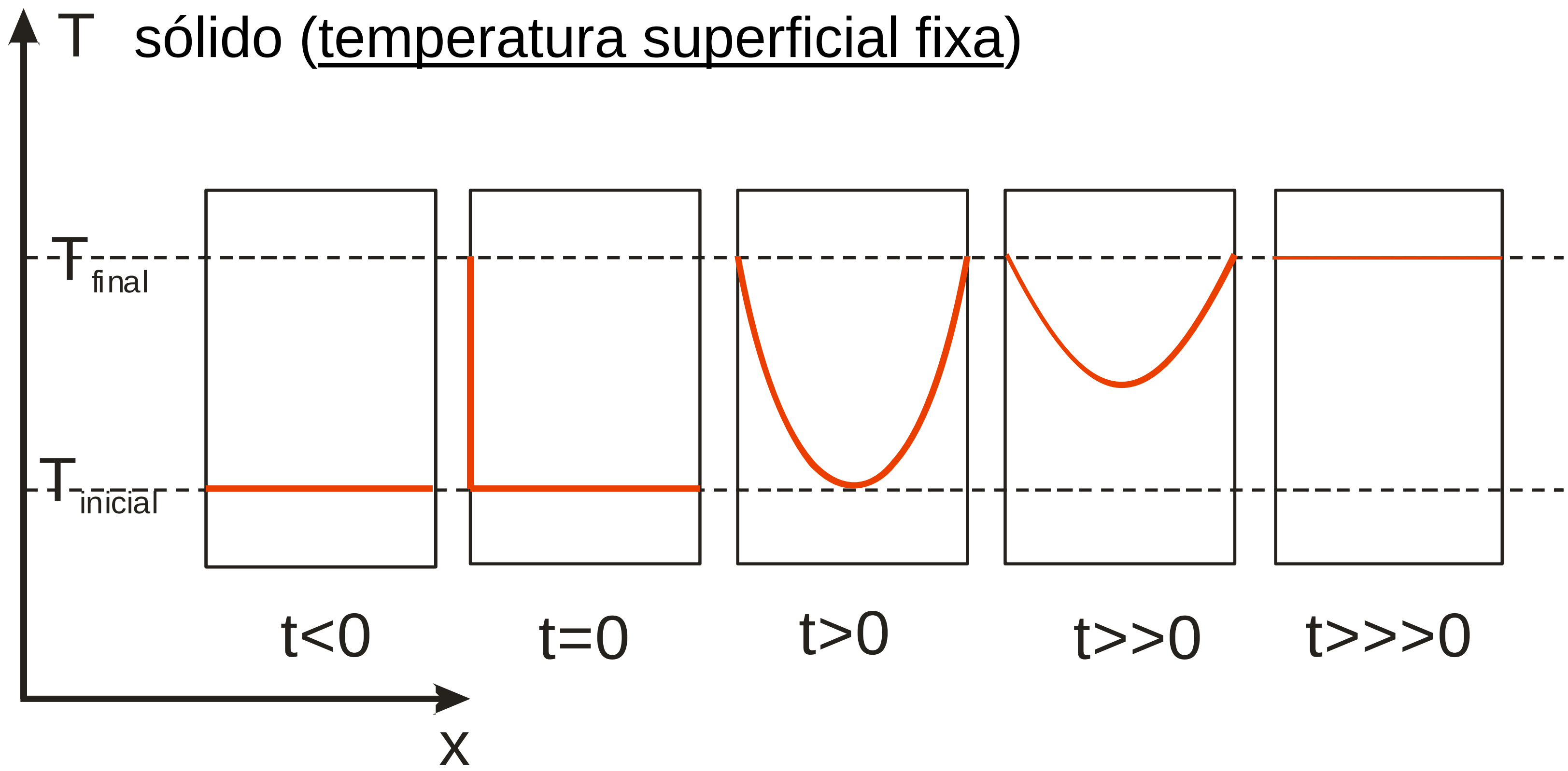
$$Bi = \frac{110.0{,}0065}{43{,}2} = 1{,}66x10^{-2}$$



800
727º
600
400
200
0
TEMPERATURA T (ºC)
Perlita grossa
α+Fe3C
Perlita Fina
γ
γ+α+Fe3C
Bainita
Ms
M50
M90
1s
1min
1 h
1 dia
0,1
1
10
10²
10³
10⁴
10⁵
TEMPO (s)

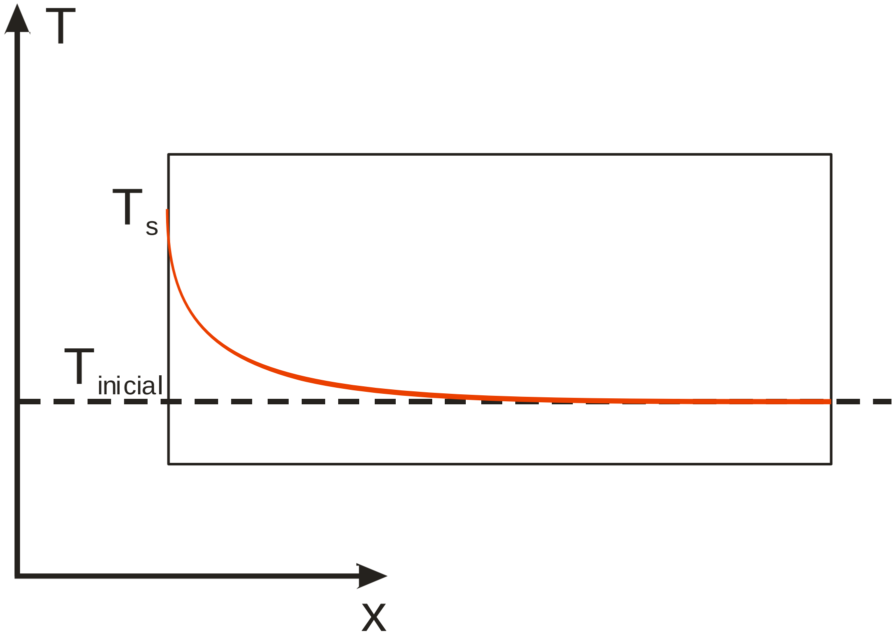
TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

- 2º caso:
  - Baixa resistência no meio fluido e alta resistência do sólido (<u>temperatura superficial fixa</u>)



TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

- 2º caso



$$\frac{T_{(x,t)} - T_f}{T_i - T_f} = erf\left(\frac{x}{\sqrt{4.\alpha.t}}\right)$$

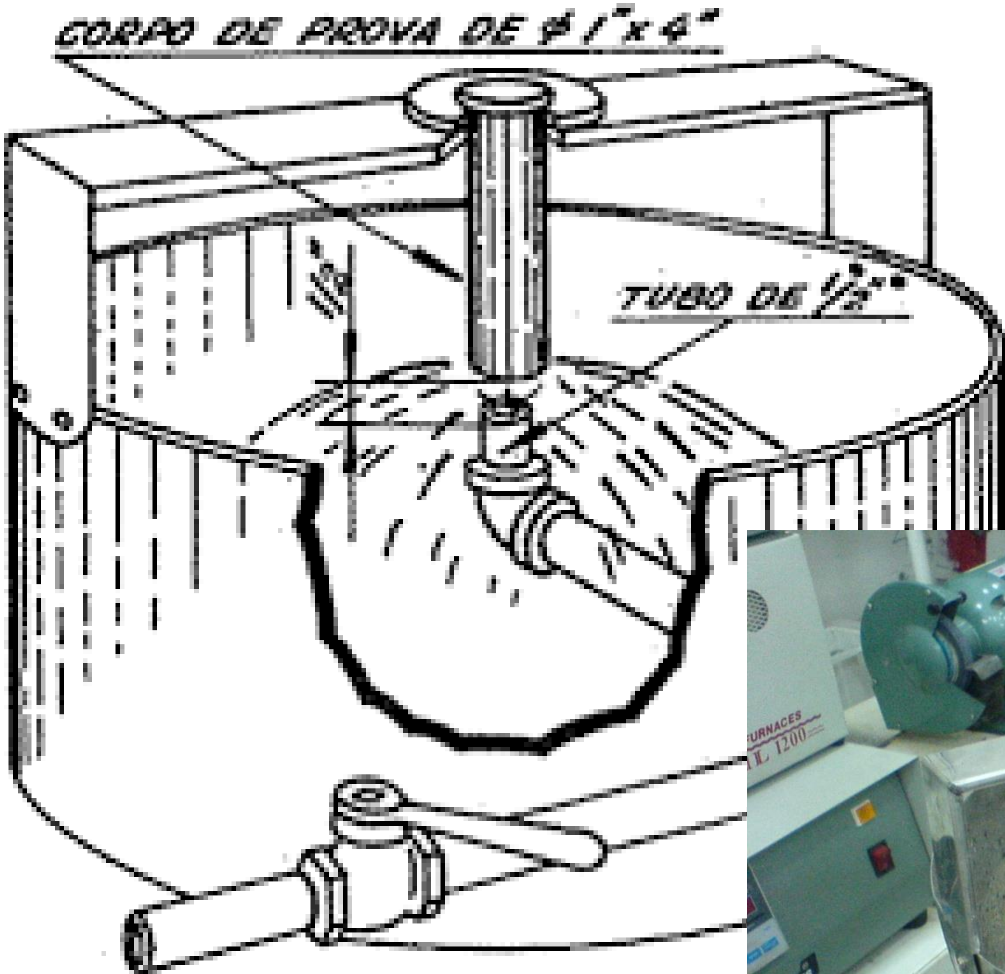
TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

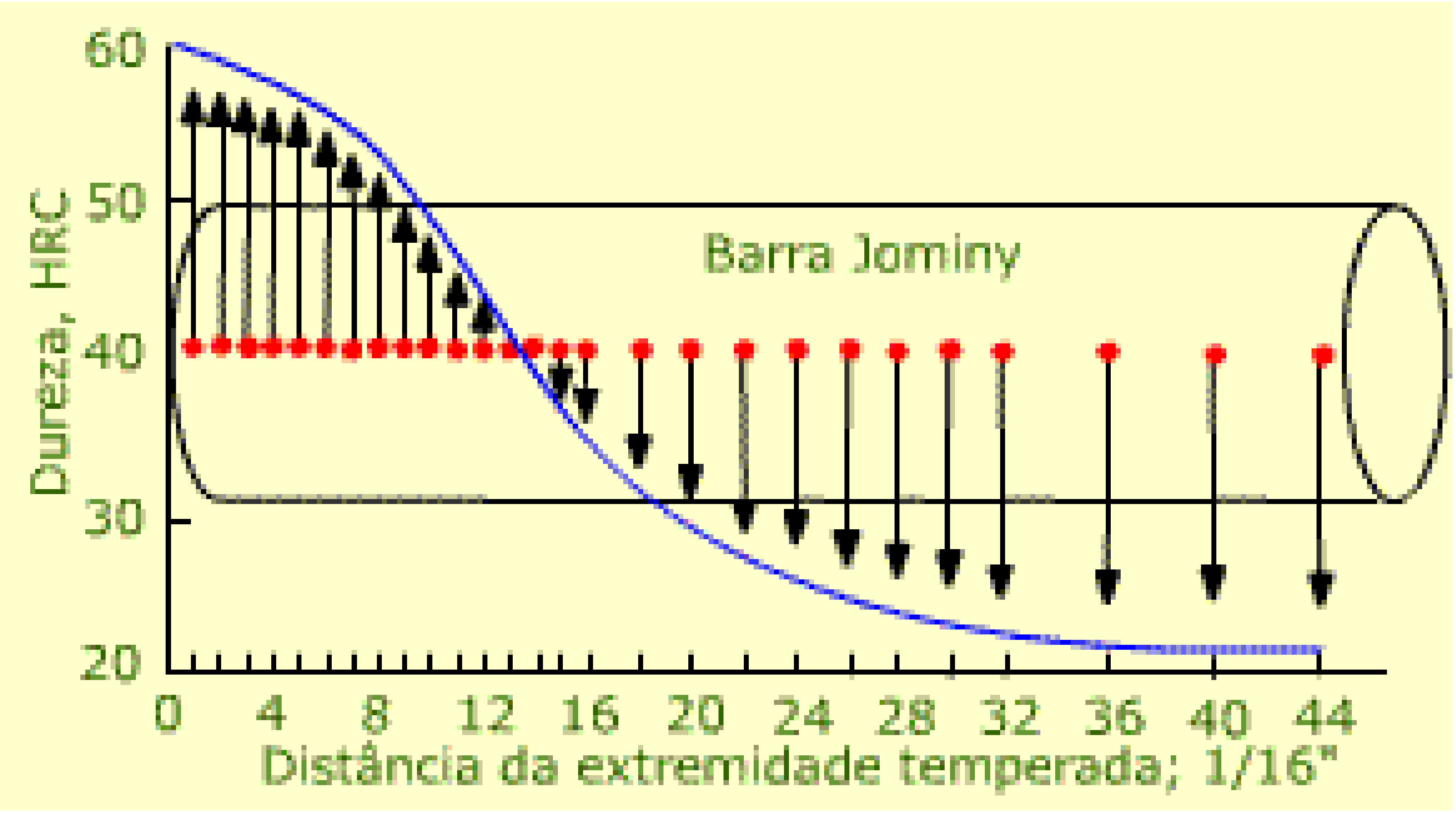
O ensaio Jominy é normalmente utilizado para determinar a temperabilidade de aços. O corpo de prova pode ser considerado um sólido semi-infinito com a temperatura da ponta na temperatura da água (295K). Em um aço eutetóide, uma microestrutura 50% martensita e 50% perlita é conseguida a uma distância de 9 mm da ponta temperada quando o aço é aquecido a 1090K. Assuma que a microestrutura 50/50 depende do tempo para resfriar a 840K. Sabendo disso, calcule o tempo que o corpo de prova demora para atingir 840K a 9mm de distância da ponta. Dados: λ=21,5W/m.K; ρ=7700kg/m^3; c_P=600J/kg.K.

$$\alpha = \frac{21,5}{7700.600} = \\ = 4,65x10^{-6} m^2/s$$

$$\frac{840-295}{1090-295} = erf\left(\frac{0,009}{\sqrt{4.4,65x10^{-6}.t}}\right) = 0,686$$

$$Bi = \frac{\bar{h}.L}{\lambda} \rightarrow \infty$$


CORPO DE PROVA DE ∅ 1" x 4"
TUBO DE 1/2"



60
50
40
30
20
Dureza, HRC
Barra Jominy
0
4
8
12
16
20
24
28
32
36
40
44
Distância da extremidade temperada; 1/16"

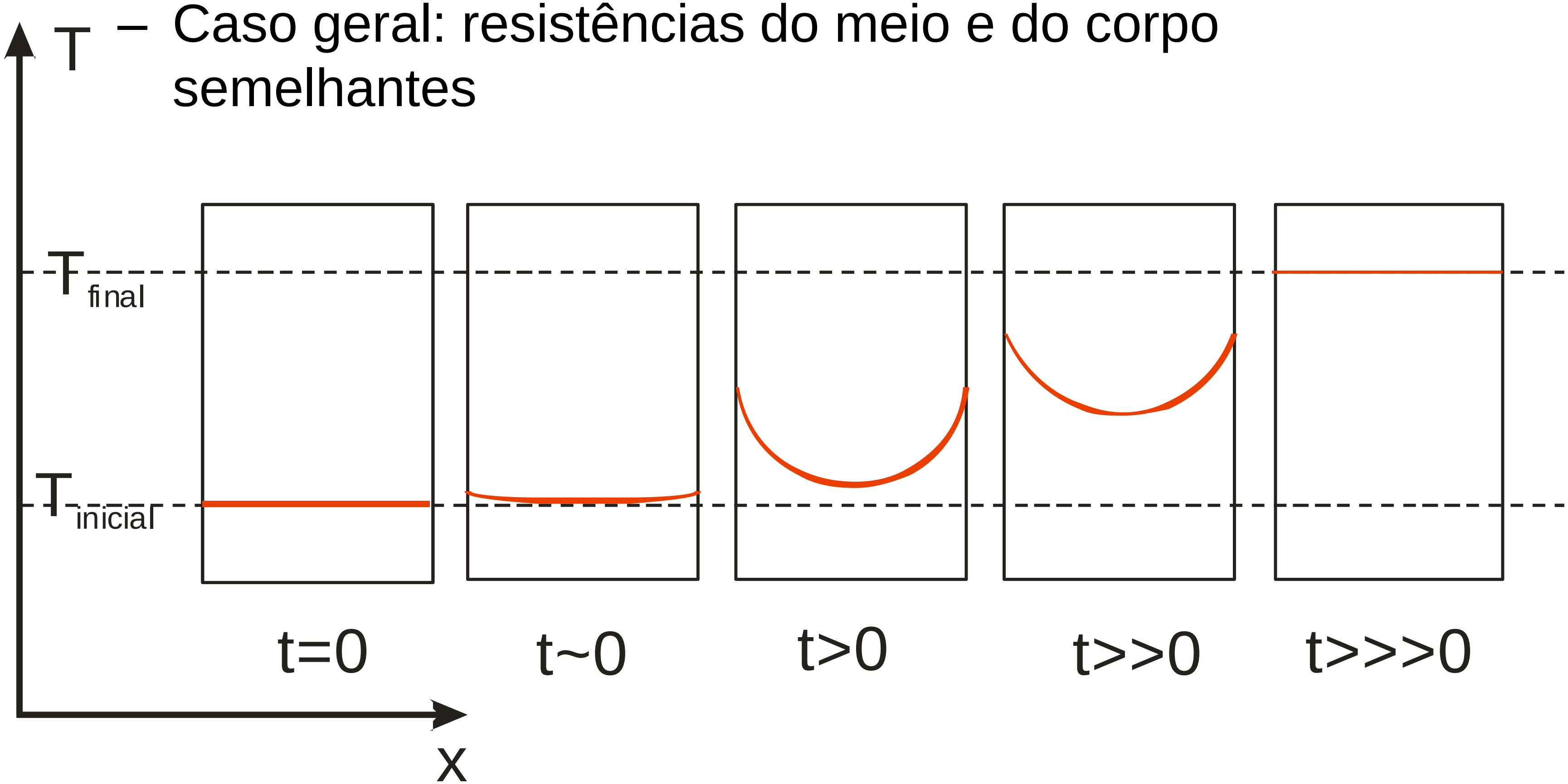
TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

N	erf(N)	N	erf(N)	N	erf(N)	N	erf(N)	N	erf(N)	N	erf(N)
0	0	0,38	0,41275	0,76	0,72237	1,14	0,89658	1,52	0,97009	1,9	0,99336
0,02	0,02279	0,4	0,43227	0,78	0,73482	1,16	0,90249	1,54	0,97219	1,92	0,99391
0,04	0,04557	0,42	0,45147	0,8	0,74688	1,18	0,90813	1,56	0,97415	1,94	0,99442
0,06	0,0683	0,44	0,47035	0,82	0,75855	1,2	0,91351	1,58	0,97599	1,96	0,99489
0,08	0,09098	0,46	0,48889	0,84	0,76984	1,22	0,91863	1,6	0,97772	1,98	0,99532
0,1	0,11359	0,48	0,50708	0,86	0,78074	1,24	0,9235	1,62	0,97934		
0,12	0,13611	0,5	0,52493	0,88	0,79127	1,26	0,92812	1,64	0,98086		
0,14	0,15851	0,52	0,54241	0,9	0,80143	1,28	0,93252	1,66	0,98227		
0,16	0,18079	0,54	0,55952	0,92	0,81123	1,3	0,9367	1,68	0,9836		
0,18	0,20292	0,56	0,57627	0,94	0,82066	1,32	0,94065	1,7	0,98484		
0,2	0,22489	0,58	0,59263	0,96	0,82974	1,34	0,9444	1,72	0,98599		
0,22	0,24668	0,6	0,60861	0,98	0,83847	1,36	0,94795	1,74	0,98707		
0,24	0,26828	0,62	0,6242	1	0,84685	1,38	0,95131	1,76	0,98807		
0,26	0,28967	0,64	0,63941	1,02	0,8549	1,4	0,95449	1,78	0,989		
0,28	0,31083	0,66	0,65422	1,04	0,86263	1,42	0,95749	1,8	0,98987		
0,3	0,33175	0,68	0,66864	1,06	0,87003	1,44	0,96032	1,82	0,99067		
0,32	0,35241	0,7	0,68266	1,08	0,87712	1,46	0,96299	1,84	0,99142		
0,34	0,37281	0,72	0,69629	1,1	0,8839	1,48	0,9655	1,86	0,99212		
0,36	0,39293	0,74	0,70953	1,12	0,89038	1,5	0,96787	1,88	0,99276		

$$erf\left(\frac{0,009}{\sqrt{4x4,65x10^{-6}.t}}\right) = 0,686 \qquad \frac{0,009}{\sqrt{4x4,65x10^{-6}.t}} = 0,705 \qquad t = 8,76s$$

TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

- 3º caso:
  - Caso geral: resistências do meio e do corpo semelhantes



TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE

- 3º caso:
  - nº de Biot : $Bi = \frac{\bar{h}.L}{\lambda}$
  - nº de Fourier : $Fo = \frac{\alpha.t}{L^2}$
  - Ábacos Bi, Fo, T_{adm}, forma, posição
  - Sólidos padrão: placa e cilindro infinitos e esfera

TRANSMISSÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE