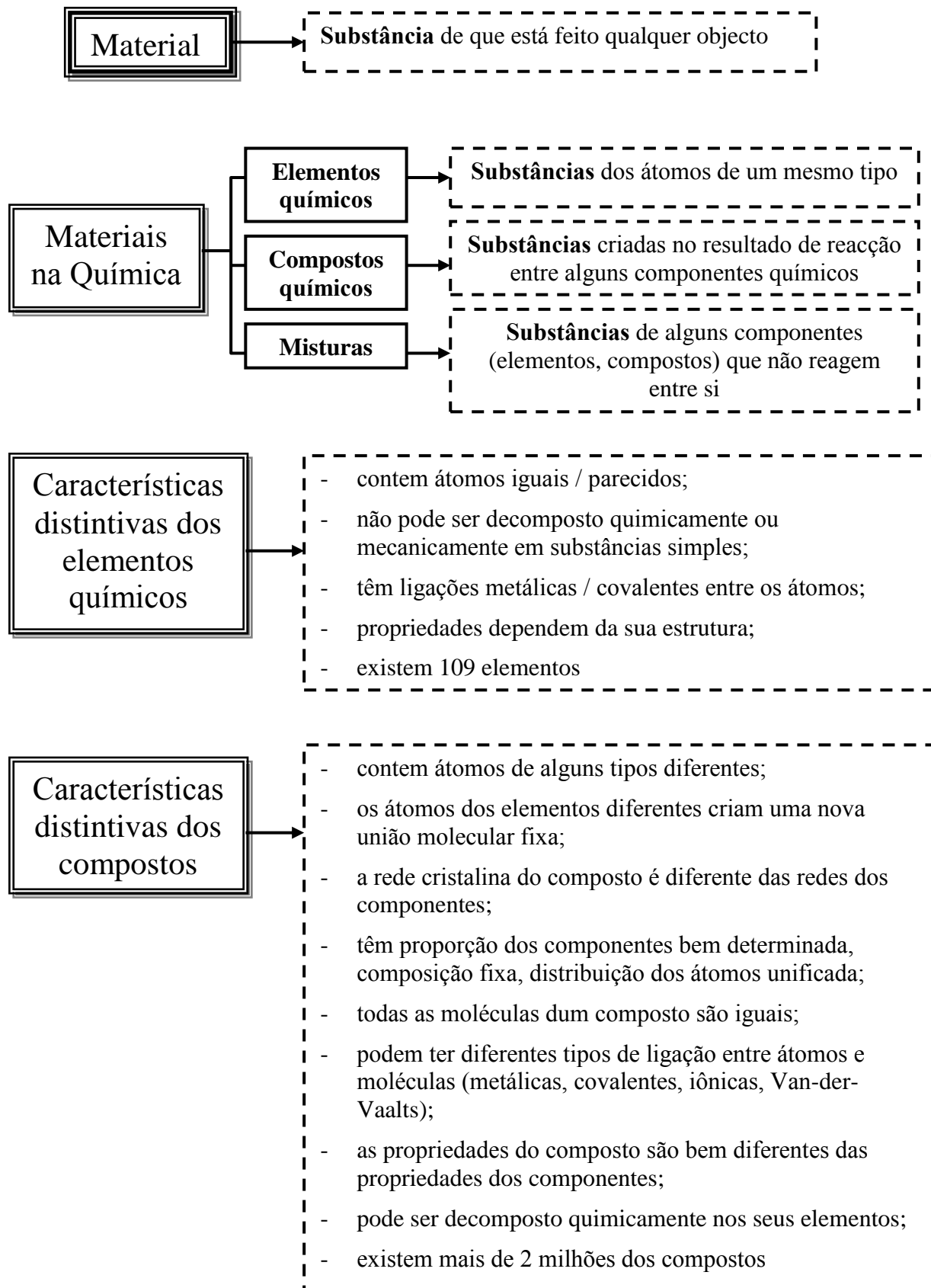


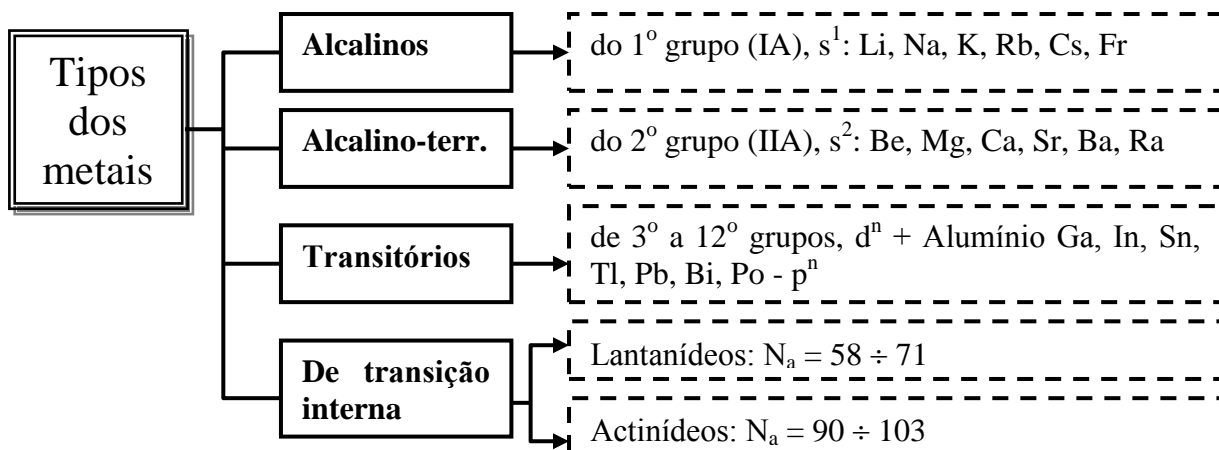
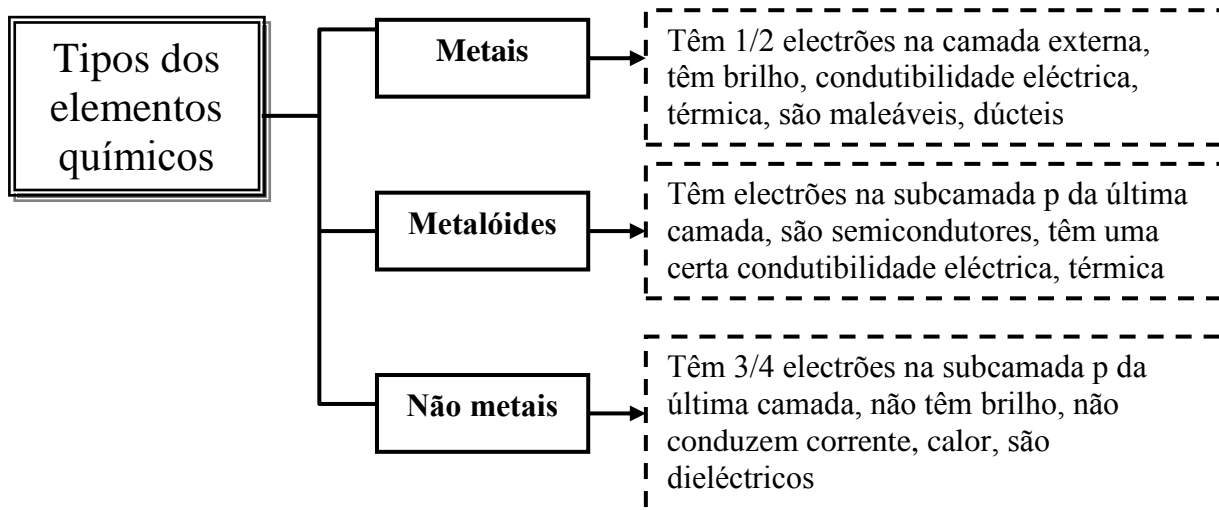
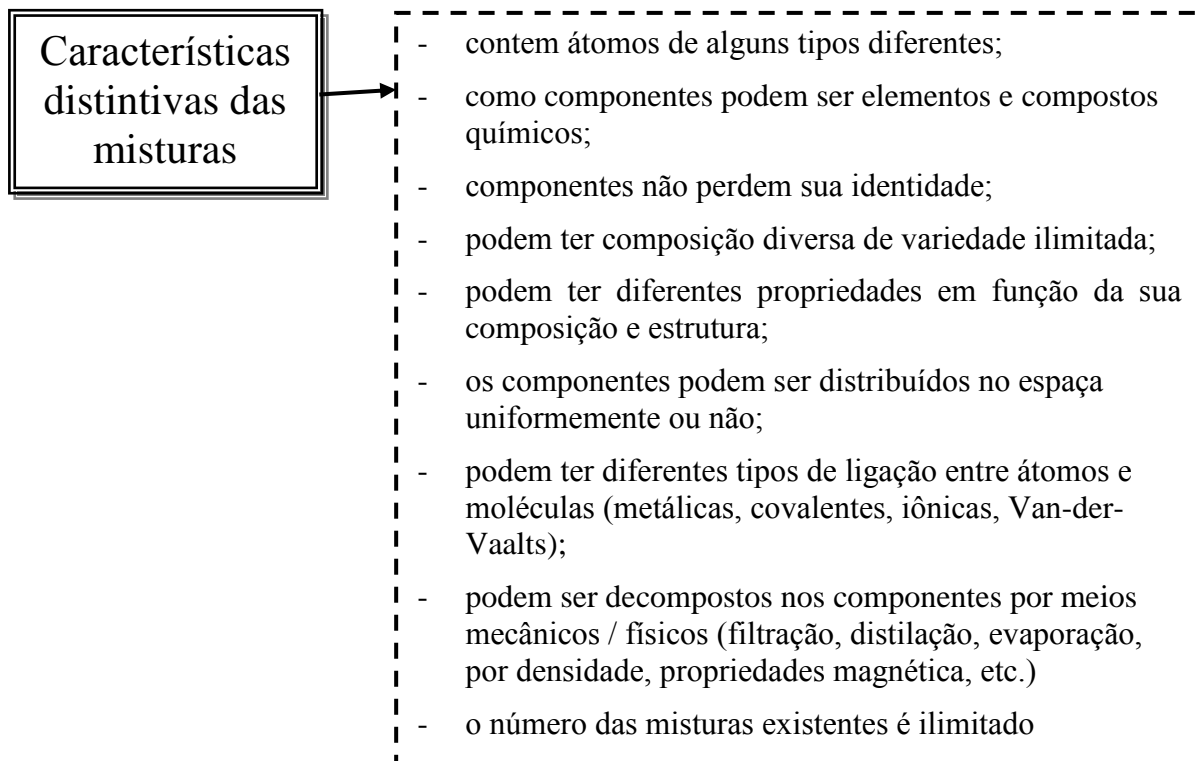
**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

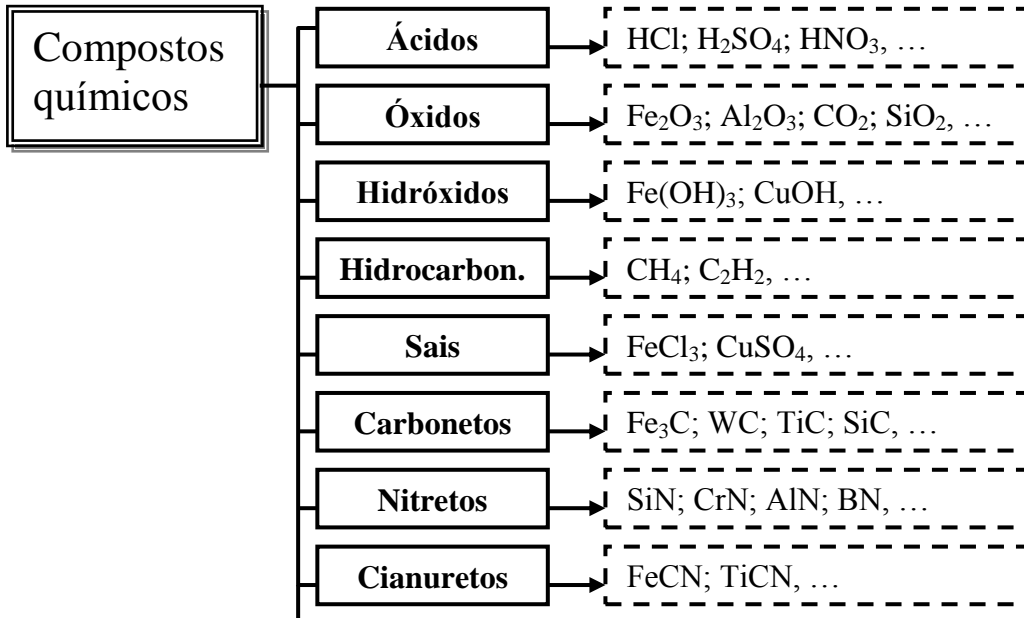
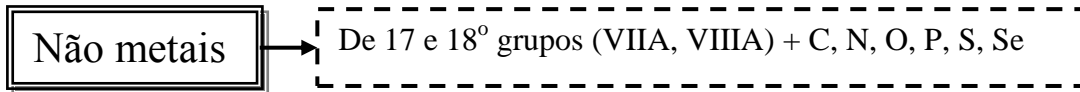
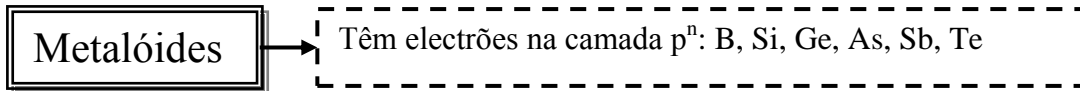
Prof. Doutor Alexandre Kourbatov

**MATERIAIS DIDÁCTICAS
DA DISCIPLINA “MATERIAIS I”**

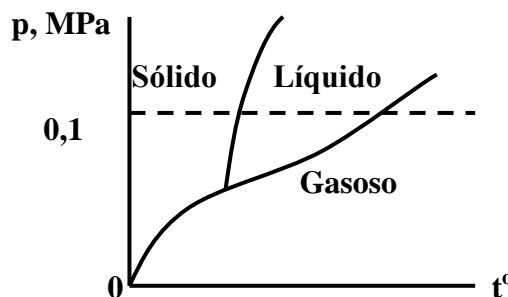
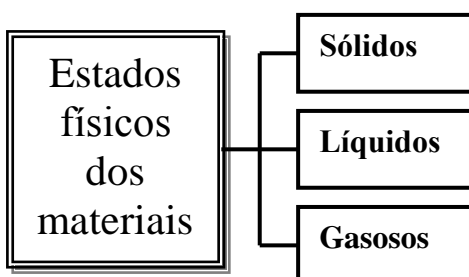
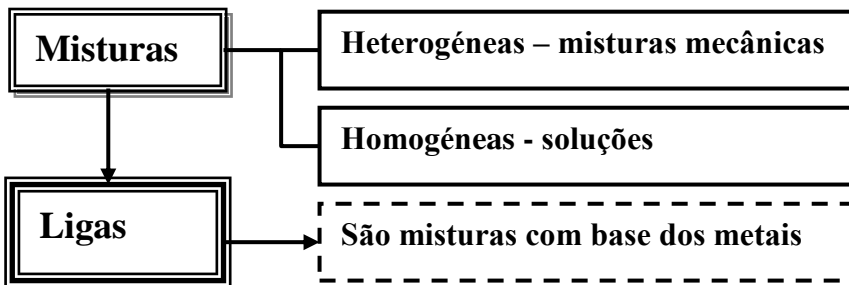
Maputo - 2006



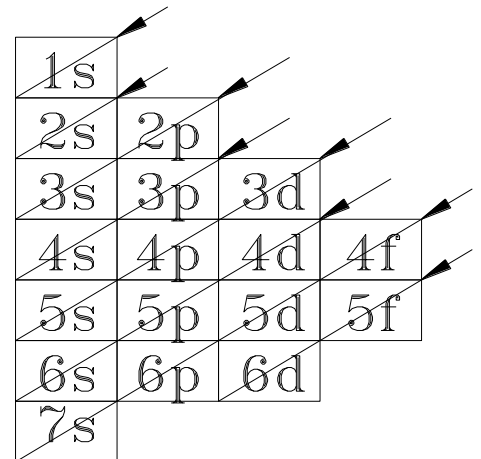
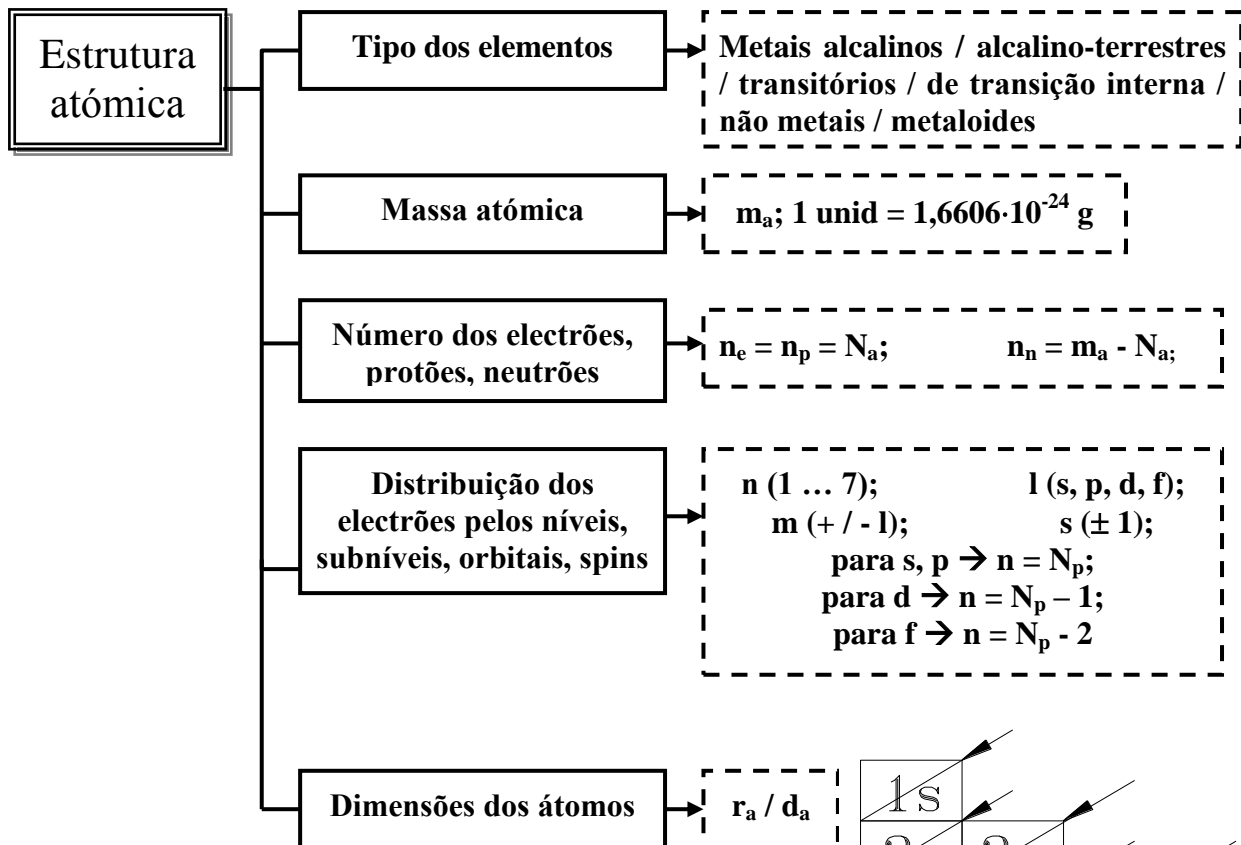




etc.



Um mesmo material pode estar em diferentes estados físicos em conformidade com a temperatura e pressão



Exemplos

C → é um não metal; $m_a = 12,011$; $n_e = n_p = 6$;
 $n_n = 12,011 - 6 = 6$ (+prov) ou 7;
 distrib. electrões - $1s^2 2s^2 2p^2$; $r_a = 7,7$ nm.

Al → é um metal; $m_a = 26,9825$; $n_e = n_p = 13$;
 $n_n = 26,9815 - 13 = 13$ ou 14 (+prov);
 distrib. electrões - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^3 3p^1$; $r_a = 14,3$ nm.

Fe → é um metal transitório; $m_a = 55,847$; $n_e = n_p = 26$; $n_n = 55,847 - 26 = 29$ ou 30 (+prov);
 distrib. electrões - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^3 3p^6 4s^2 3d^6$; $r_a = 12,7$ nm.

Mo → é um metal transitório; $m_a = 95,94$; $n_e = n_p = 42$; $n_n = 95,94 - 42 = 53$ ou 54 (+prov);
 distrib. electrões - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^3 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^1 4d^5$; $r_a = 13,6$ nm.

W → é um metal transitório; $m_a = 183,85$; $n_e = n_p = 74$; $n_n = 183,85 - 74 = 109$ ou 110 (+prov);
 distrib. electrões - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^3 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^4$;
 $r_a = 14,1$ nm.

Quadro Periódico dos Elementos

(Designação, número atômico, nome, peso atômico,

distribuição dos electrões)

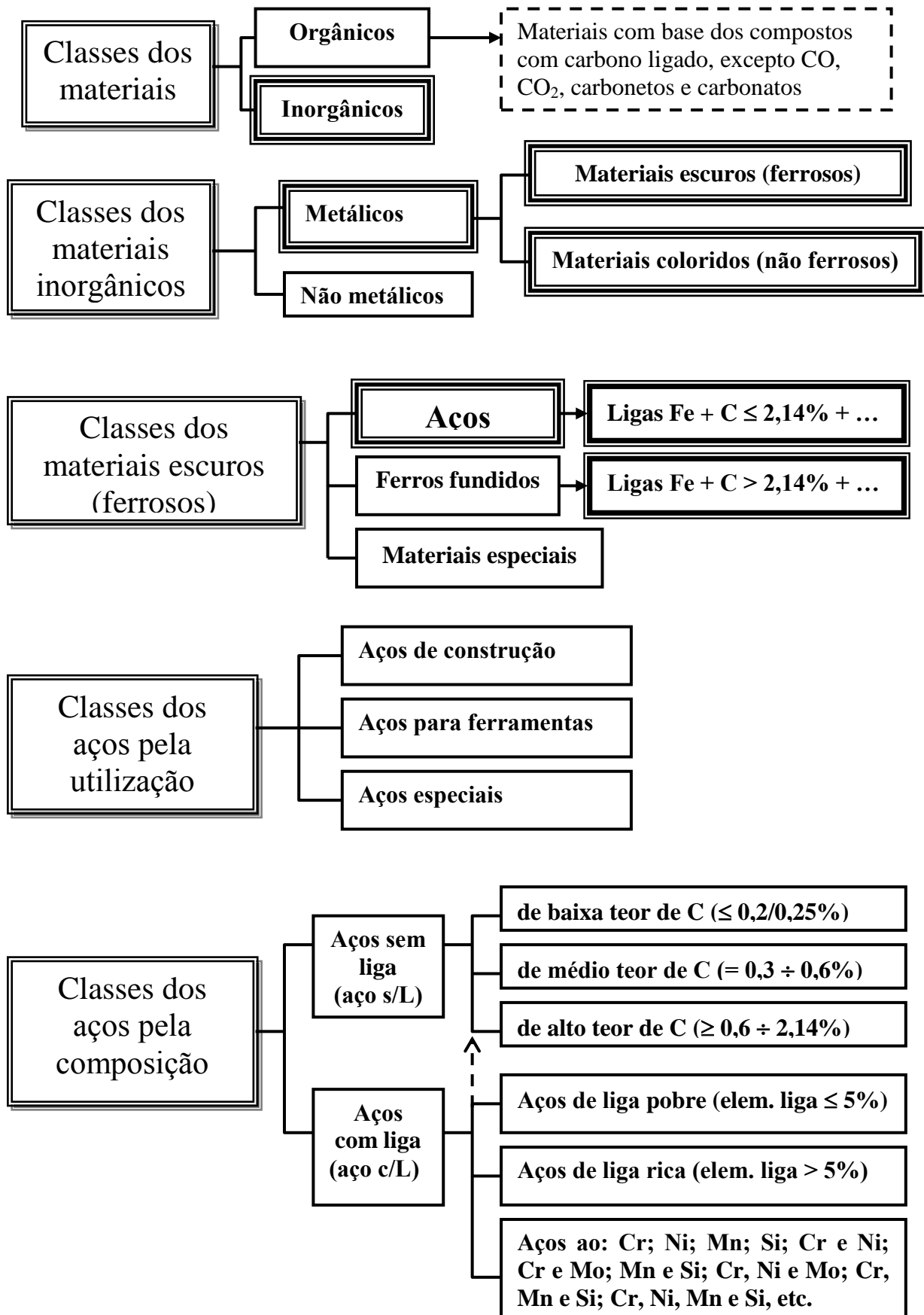
	1 IA	2 IIA	VIII B										13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA		
1	H ¹ Hidrogénio 1,0079 1s ¹																			
2	Li ³ Lítio 6,941 2s ¹ 2, 1	Be ⁴ Berílio 9,0122 2s ² 2, 2																		
3	Na ¹¹ Sódio 22,9898 3s ¹ 2, 8, 1	Mg ¹² Magnésio 24,305 3s ² 2, 8, 2																		
4	K ¹⁹ Potássio 39,0983 4s ¹ 2, 8, 8, 1	Ca ²⁰ Cálcio 40,078 4s ² 2, 8, 8, 2	Sc ²¹ Escândio 44,9559 4s ² 3d ¹ 2, 8, 9, 2	Ti ²² Titânio 47,88 4s ² 3d ² 2, 8, 10, 2	V ²³ Vanádio 50,9415 4s ² 3d ³ 2, 8, 11, 2	Cr ²⁴ Cromo 51,9961 4s ¹ 3d ⁵ 2, 8, 13, 1	Mn ²⁵ Manganês 54,9380 4s ² 3d ⁵ 2, 8, 13, 2	Fe ²⁶ Ferro 55,847 4s ² 3d ⁶ 2, 8, 14, 2	Co ²⁷ Cobalto 58,9332 4s ² 3d ⁷ 2, 8, 15, 2	Ni ²⁸ Níquel 58,69 4s ² 3d ⁸ 2, 8, 16, 2	Cu ²⁹ Cobre 63,546 4s ¹ 3d ¹⁰ 2, 8, 18, 1	Zn ³⁰ Zinco 65,39 4s ² 3d ¹⁰ 2, 8, 18, 2	Ga ³¹ Gálio 69,723 4s ² 4p ¹ 2, 8, 18, 3	Ge ³² Germânio 72,59 4s ² 4p ² 2, 8, 18, 4	As ³³ Arsénio 74,9216 4s ² 4p ³ 2, 8, 18, 5	Se ³⁴ Selénio 78,96 4s ² 4p ⁴ 2, 8, 18, 6	Br ³⁵ Bromo 79,904 4s ² 4p ⁵ 2, 8, 18, 7	Kr ³⁶ Criptón 83,80 4s ² 4p ⁶ 2, 8, 18, 8		
5	Rb ³⁷ Rubídio 85,47 5s ¹ 2, 8, 18, 8, 1	Sr ³⁸ Estrôncio 87,62 5s ² 2, 8, 18, 8, 2	Y ³⁹ Ítrio 88,9059 5s ² 4d ¹ 2, 8, 18, 9, 2	Zr ⁴⁰ Zircónio 91,224 5s ² 4d ² 2, 8, 18, 10, 2	Nb ⁴¹ Nióbio 92,9064 5s ¹ 4d ⁴ 2, 8, 18, 12, 1	Mo ⁴² Molibdénio 95,94 5s ¹ 4d ⁵ 2, 8, 18, 13, 1	Tc ⁴³ Tecnécio 98,9062 5s ² 4d ⁵ 2, 8, 18, 13, 2	Ru ⁴⁴ Ruténio 101,07 5s ¹ 4d ⁷ 2, 8, 18, 15, 1	Rh ⁴⁵ Ródio 102,9055 5s ¹ 4d ⁸ 2, 8, 18, 16, 1	Pd ⁴⁶ Paládio 106,4 5s ⁰ 4d ¹⁰ 2, 8, 18, 18, 0	Ag ⁴⁷ Prata 107,868 5s ¹ 4d ¹⁰ 2, 8, 18, 18, 1	Cd ⁴⁸ Cádmio 112,41 5s ² 4d ¹⁰ 2, 8, 18, 18, 2	In ⁴⁹ Índio 114,82 5s ² 5p ¹ 2, 8, 18, 18, 3	Sn ⁵⁰ Estanho 118,69 5s ² 5p ² 2, 8, 18, 18, 4	Sb ⁵¹ Antimónio 121,75 5s ² 5p ³ 2, 8, 18, 18, 5	Te ⁵² Telúrio 127,60 5s ² 5p ⁴ 2, 8, 18, 18, 6	I ⁵³ Iodo 126,9045 5s ² 5p ⁵ 2, 8, 18, 18, 7	Xe ⁵⁴ Xénon 131,30 5s ² 5p ⁶ 2, 8, 18, 18, 8		
6	Cs ⁵⁵ Césio 132,9 6s ¹ 2, 8, 18, 18, 8, 1	Ba ⁵⁶ Bário 137,33 6s ² 2, 8, 18, 18, 8, 2	La ⁵⁷ Lantânio 138,9055 6s ² 5d ¹ 2, 8, 18, 18, 9, 2	Hf ⁷² Háfnio 178,49 6s ² 4f ¹⁴ 5d ² 2, 8, 18, 32, 10, 2	Ta ⁷³ Tântalo 180,9479 6s ² 4f ¹⁴ 5d ³ 2, 8, 18, 32, 11, 2	W ⁷⁴ Tungsténio 183,85 6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁴ 2, 8, 18, 32, 12, 2	Re ⁷⁵ Rênio 186,207 6s ¹ 4f ¹⁴ 5d ⁵ 2, 8, 18, 32, 13, 2	Os ⁷⁶ Ósmio 190,2 6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁶ 2, 8, 18, 32, 14, 2	Ir ⁷⁷ Iródio 192,22 6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁷ 2, 8, 18, 32, 15, 2	Pt ⁷⁸ Platina 195,09 6s ¹ 4f ¹⁴ 5d ⁹ 2, 8, 18, 32, 17, 1	Au ⁷⁹ Ouro 196,9665 6s ¹ 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 2, 8, 18, 32, 18, 1	Hg ⁸⁰ Mercúrio 200,59 6s ² 4f ¹⁴ d ¹⁰ 2, 8, 18, 32, 18, 2	Tl ⁸¹ Tálio 204,3833 6s ² 5p ¹ 2, 8, 18, 32, 18, 3	Pb ⁸² Chumbo 207,2 6s ² 5p ² 2, 8, 18, 32, 18, 4	Bi ⁸³ Bismuto 208,9804 6s ² 5p ³ 2, 8, 18, 32, 18, 5	Po ⁸⁴ Polónio (209) 6s ² 5p ⁴ 2, 8, 18, 32, 18, 6	At ⁸⁵ Astato (210) 6s ² 5p ⁵ 2, 8, 18, 32, 18, 7	Rn ⁸⁶ Rádón (222) 6s ² 5p ⁶ 2, 8, 18, 32, 18, 8		
7	Fr ⁸⁷ Frâncio (223) 7s ¹ 2, 8, 18, 32, 18, 8, 1	Ra ⁸⁸ Rádio 226,0254 7s ² 2, 8, 18, 32, 18, 8, 2	Ac ⁸⁹ Actínio (227) 7s ² 6d ¹ 2, 8, 18, 32, 18, 9, 2	Unq ¹⁰⁴ Unilquádio (261) 7s ² 5f ¹⁴ 6d ² 2, 8, 18, 32, 32, 10, 2	Unp ¹⁰⁵ Unilpêntio (262) 7s ² 5f ¹⁴ 6d ³ 2, 8, 18, 32, 32, 11, 2	Unh ¹⁰⁶ Unilhêxio (263) 7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁴ 2, 8, 18, 32, 32, 12, 2	Uns ¹⁰⁷ Unisêptio (262) 7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁵ 2, 8, 18, 32, 32, 13, 2	Uno ¹⁰⁸ Unilóctio (265) 7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁶ 2, 8, 18, 32, 32, 14, 2	Une ¹⁰⁹ Unilénio (266) 7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁷ 2, 8, 18, 32, 32, 15, 2											
	6* - Lantanídeo		Ce ⁵⁸ Cério 140,115 6s ² 4f ¹ 5d ¹ 2, 8, 18, 20, 8, 2	Pr ⁵⁹ Prasodímio 140,9076 6s ² 4f ³ 2, 8, 18, 21, 8, 2	Nd ⁶⁰ Neodímio 144,24 6s ² 4f ⁴ 2, 8, 18, 22, 8, 2	Pm ⁶¹ Prometeu (145) 6s ² 4f ⁵ 2, 8, 18, 23, 8, 2	Sm ⁶² Samário 150,36 6s ² 4f ⁶ 2, 8, 18, 24, 8, 2	Eu ⁶³ Európio 151,965 6s ² 4f ⁷ 2, 8, 18, 25, 8, 2	Gd ⁶⁴ Gadolínio 157,25 6s ² 4f ⁷ 5d ¹ 2, 8, 18, 25, 8, 2	Tb ⁶⁵ Térbio 158,9253 6s ² 4f ⁹ 2, 8, 18, 27, 8, 2	Dy ⁶⁶ Disprósio 162,5 6s ² 4f ¹⁰ 2, 8, 18, 28, 8, 2	Ho ⁶⁷ Hólmio 164,9303 6s ² 4f ¹¹ 2, 8, 18, 29, 8, 2	Er ⁶⁸ Érbio 167,26 6s ² 4f ¹² 2, 8, 18, 30, 8, 2	Tm ⁶⁹ Túlio 168,9342 6s ² 4f ¹³ 2, 8, 18, 31, 8, 2	Yb ⁷⁰ Ítérbio 173,04 6s ² 4f ¹⁴ 2, 8, 18, 32, 8, 2	Lu ⁷¹ Lutécio 174,967 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹ 2, 8, 18, 32, 9, 2				
	7* - Actinídios		Th ⁹⁰ Tório 232,0381 7s ² 6d ² 2, 8, 18, 32, 18, 10, 2	Pa ⁹¹ Protactínio 231,0359 7s ² 5f ² 6d ¹ 2, 8, 18, 32, 20, 9, 2	U ⁹² Urânio 238,0289 7s ² 5f ³ 6d ¹ 2, 8, 18, 32, 21, 9, 2	Np ⁹³ Neptúnio 237,0482 7s ² 5f ⁴ 6d ¹ 2, 8, 18, 32, 23, 8, 2	Pu ⁹⁴ Plutónio (244) 7s ² 5f ⁶ 2, 8, 18, 32, 24, 8, 2	Am ⁹⁵ Americío (243) 7s ² 5f ⁷ 2, 8, 18, 32, 25, 8, 2	Cm ⁹⁶ Cúrio (247) 7s ² 5f ⁷ 6d ¹ 2, 8, 18, 32, 25, 9, 2	Bk ⁹⁷ Berquélío (247) 7s ² 5f ⁹ 2, 8, 18, 32, 27, 8, 2	Cf ⁹⁸ Califórnio (251) 7s ² 5f ¹⁰ 2, 8, 18, 32, 28, 8, 2	Es ⁹⁹ Einsteinio (252) 7s ² 5f ¹¹ 2, 8, 18, 32, 29, 8, 2	Fm ¹⁰⁰ Férmio (257) 7s ² 5f ¹² 2, 8, 18, 32, 30, 8, 2	Md ¹⁰¹ Mendelévio (258) 7s ² 5f ¹³ 2, 8, 18, 32, 31, 8, 2	No ¹⁰² Nóbelio (259) 7s ² 5f ¹⁴ 2, 8, 18, 32, 32, 8, 2	Lr ¹⁰³ Lauréncio (260) 7s ² 5f ¹⁴ 6d ¹ 2, 8, 18, 32, 32, 9, 2				

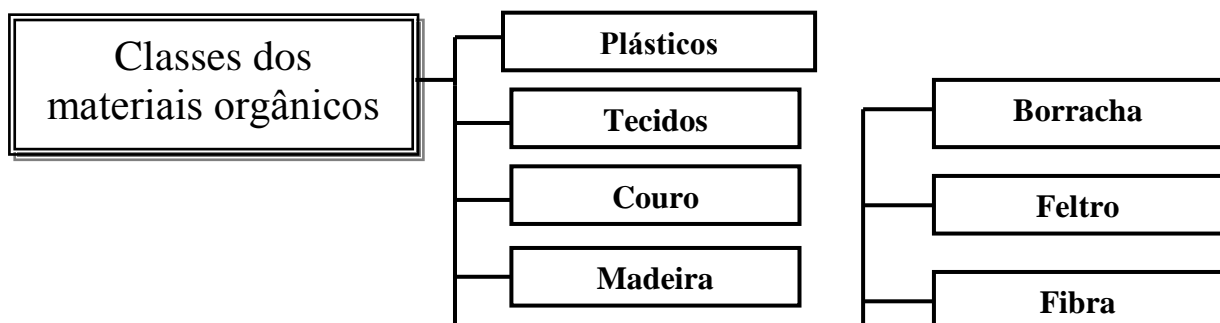
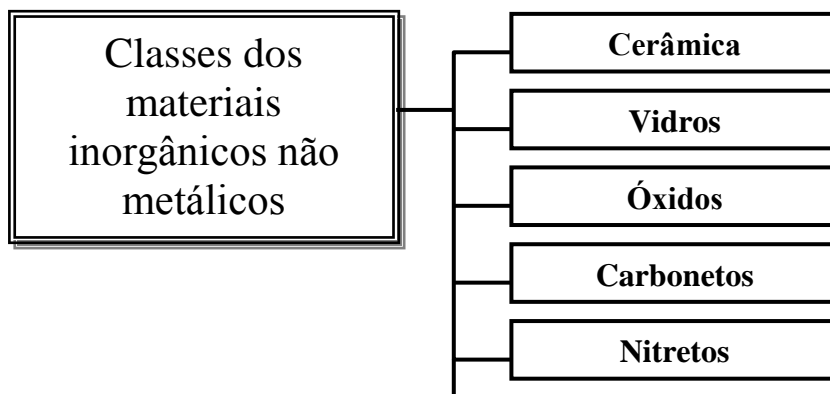
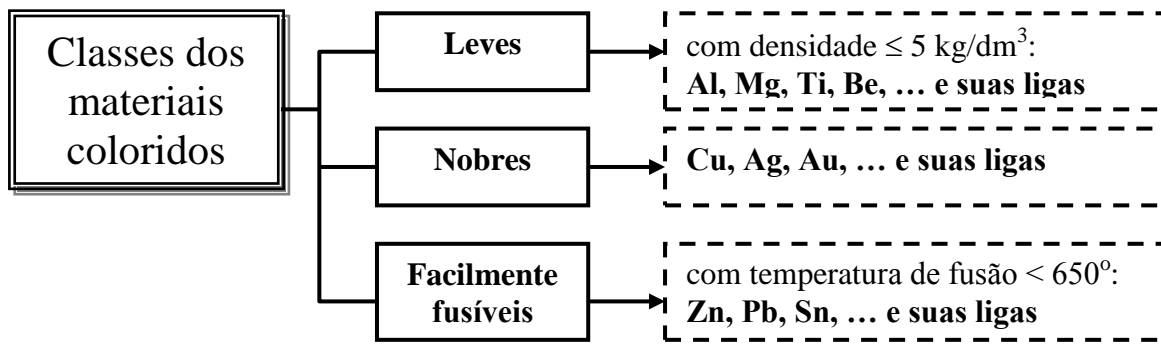
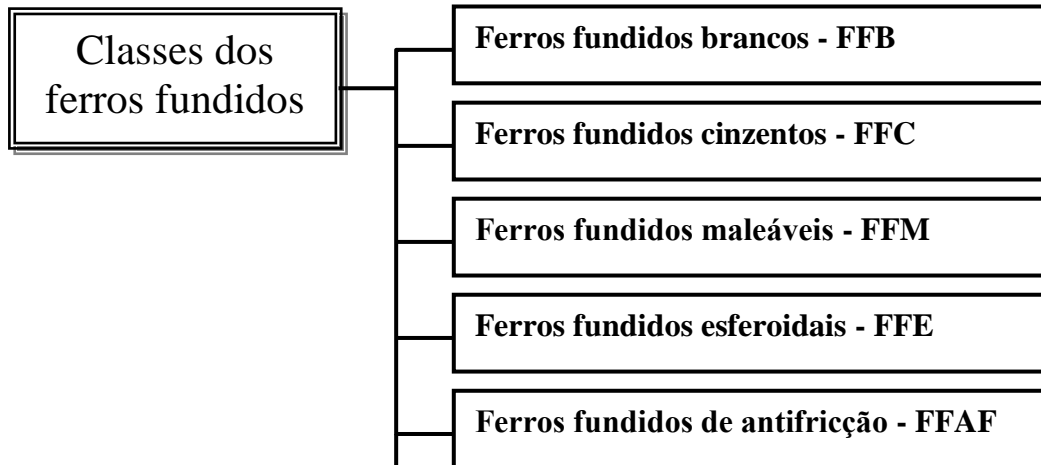
Quadro Periódico dos Elementos

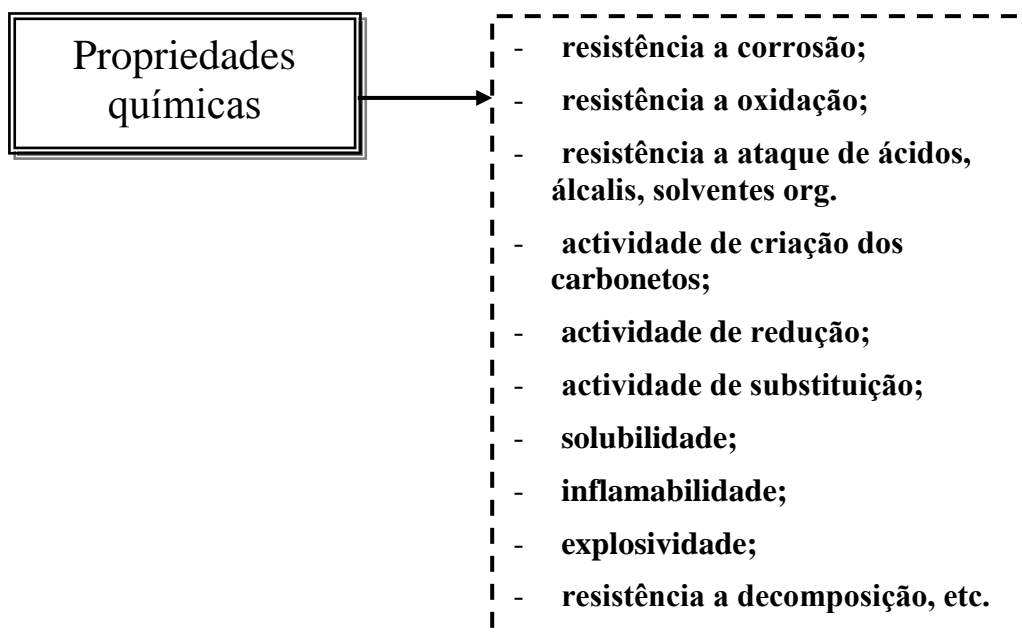
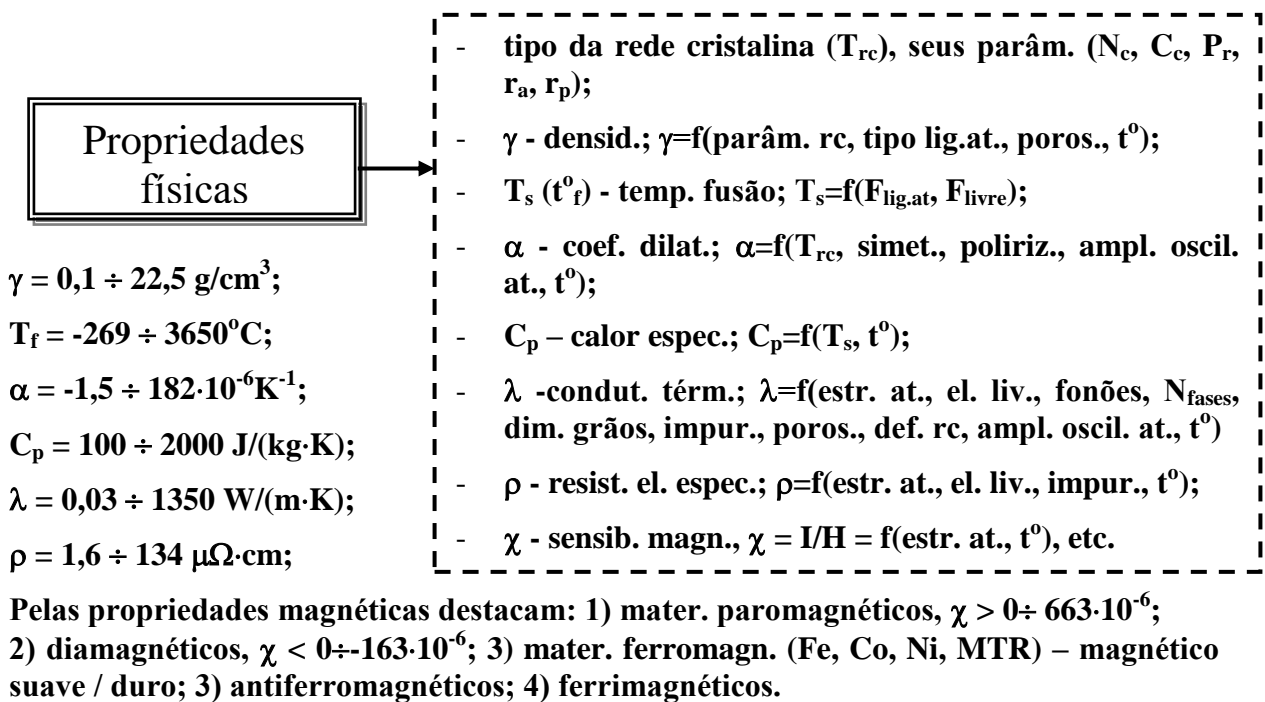
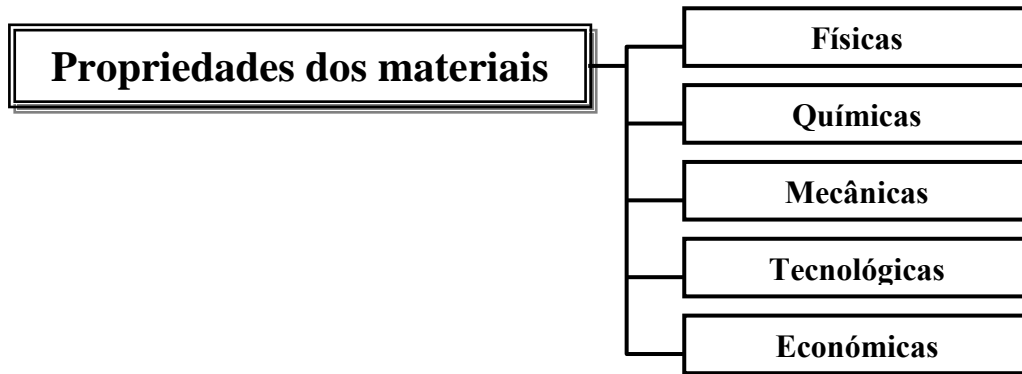
(Designação, número atômico, rede cristalina, raio atômico/densidade, $t^{\circ}_{\text{fusão}}$, dureza HB)

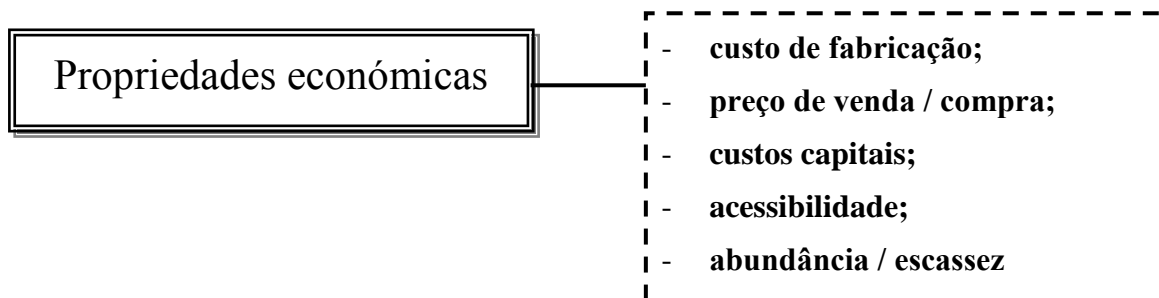
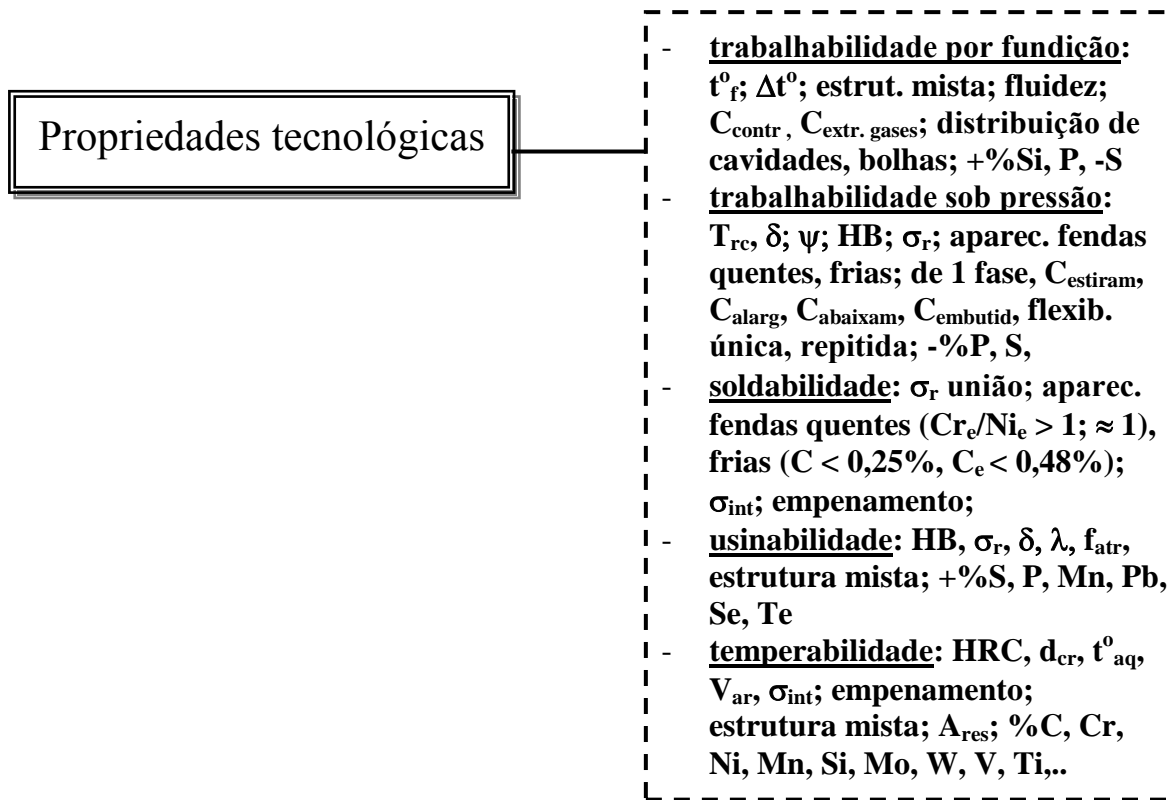
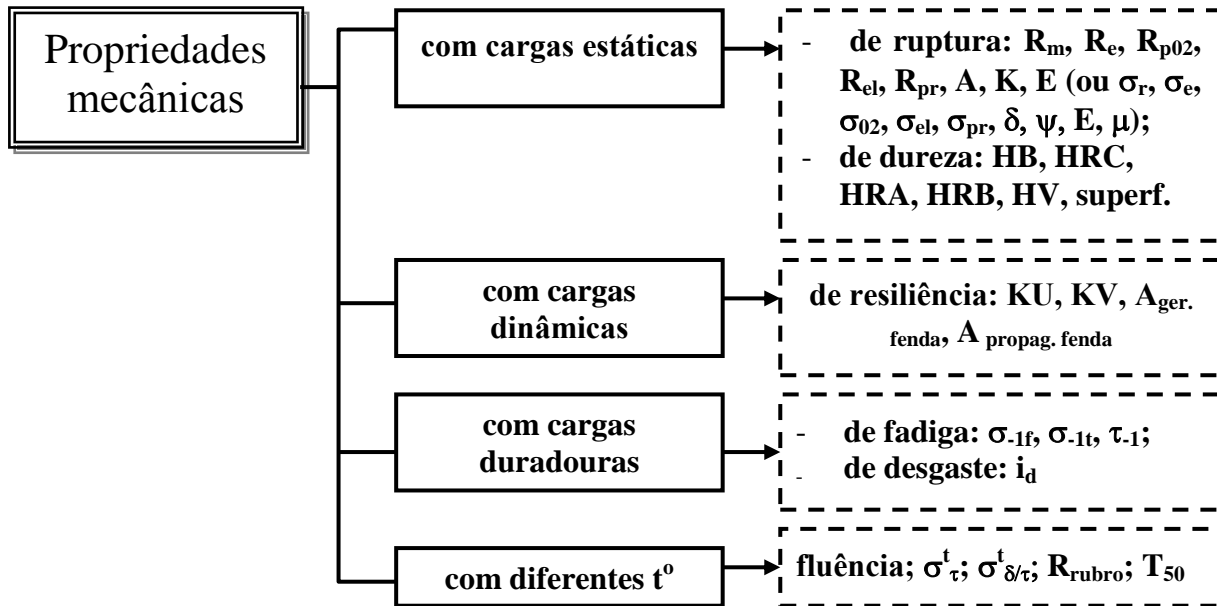
	1 IA	2 IIA											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA	
1	H ¹																		He ²
2	Li ³ C8	Be ⁴ H12 1,13/1,82 1284 ⁰ 140 HB											B ⁵	C ⁶	N ⁷	O ⁸	F ⁹	Ne ¹⁰	
3	Na ¹¹ C8	Mg ¹² H12 1,60/1,74 651 ⁰ 30 HB	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	VIII B (8) (9) (10)			11 IB	12 IIB	Al ¹³ C12 1,43/2,7 660 ⁰ 20 HB	Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶	Cl ¹⁷	Ar ¹⁸	
4	K ¹⁹ C8	Ca ²⁰ C12/H12	Sc ²¹	Ti ²² H12/C8 1,45/4,5 1660 ⁰ 80 HB	V ²³ C8 1,36/5,96 1700 ⁰ 260 HB	Cr ²⁴ C8 1,28/7,14 1850 ⁰ 100 HB	Mn ²⁵ C ₁₂ /IFCC8 1,31/7,46 1244 ⁰ 200 HB	Fe ²⁶ C8/C12 1,27/7,8 1539 ⁰ 70 HB	Co ²⁷ H12/C12 1,26/8,9 1480 ⁰ 50 HB	Ni ²⁸ C12 1,24/8,9 1455 ⁰ 60 HB	Cu ²⁹ C12 1,28/8,92 1083 ⁰ 35	Zn ³⁰ H6 1,37/7,14 419 ⁰ 35	Ga ³¹ Tetr	Ge ³² Diam	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵	Kr ³⁶	
5	Rb ³⁷ C8	Sr ³⁸ C12	Y ³⁹ H12	Zr ⁴⁰ H12/C8 1,6/6,52 1860 ⁰ 100 HB	Nb ⁴¹ C8 1,47/8,5 2450 ⁰ 80 HB	Mo ⁴² C8 1,4/10,2 2625 ⁰ 150	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴ H12	Rh ⁴⁵ C12	Pd ⁴⁶ C12	Ag ⁴⁷ C12 1,44/10,5 960 ⁰ 25	Cd ⁴⁸ H12	In ⁴⁹ Tetr	Sn ⁵⁰ Diam/ICC 1,58/7,29 232 ⁰ 5	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³	Xe ⁵⁴	
6	Cs ⁵⁵ C8	Ba ⁵⁶ C8	La ⁵⁷ C12/H12	Hf ⁷² H12	Ta ⁷³ C8	W ⁷⁴ C8 1,41/19,3 3410 ⁰ 300	Re ⁷⁵ H12	Os ⁷⁶ H12	Ir ⁷⁷ H12	Pt ⁷⁸ C12	Au ⁷⁹ C12 1,44/19,3 1063 ⁰ 19	Hg ⁸⁰ H6 1,55/13,5 -38,9 ⁰	Tl ⁸¹ H12/C12	Pb ⁸² C12 1,75/11,3 327 ⁰ 4	Bi ⁸³	Po ⁸⁴	At ⁸⁵	Rn ⁸⁶	
7	Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹	Unq ¹⁰⁴	Unp ¹⁰⁵	Unh ¹⁰⁶	Uns ¹⁰⁷	Uno ¹⁰⁸	Uue ¹⁰⁹										
6* - Lantanídeo				Ce ⁵⁸	Pr ⁵⁹	Nd ⁶⁰	Pm ⁶¹	Sm ⁶²	Eu ⁶³	Gd ⁶⁴	Tb ⁶⁵	Dy ⁶⁶	Ho ⁶⁷	Er ⁶⁸	Tm ⁶⁹	Yb ⁷⁰	Lu ⁷¹		
7* - Actinídios				Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹² Or/T/C8 1,55/19 1133 ⁰ 240	Np ⁹³	Pu ⁹⁴	Am ⁹⁵	Cm ⁹⁶	Bk ⁹⁷	Cf ⁹⁸	Es ⁹⁹	Fm ¹⁰⁰	Md ¹⁰¹	No ¹⁰²	Lr ¹⁰³		

Classificação dos materiais na engenharia



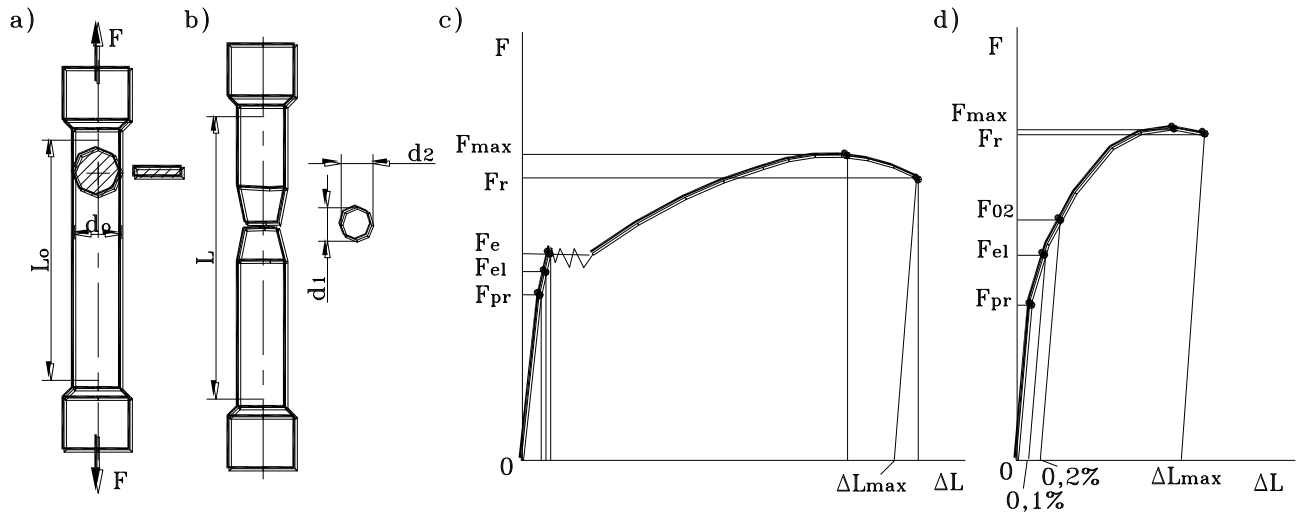






Ensaio das propriedades mecânicas

Ensaio de ruptura



$$\mu_F = Y_{max} / F_{max}; \quad F_i = Y_i / \mu_F; \quad \mu_{\Delta L} = X_{max} / \Delta L_{max}; \quad \Delta L_i = X_i / \mu_{\Delta L};$$

$$X_{02} = 0,002 \cdot L \cdot \mu_{\Delta L};$$

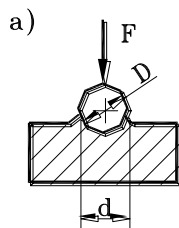
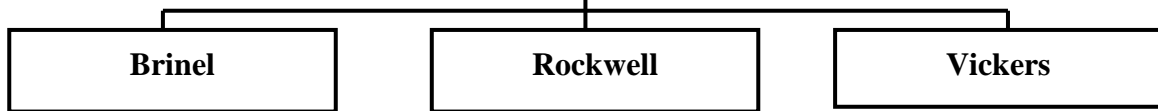
$$\sigma_r = F_{max} / A_0; \quad A_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4; \quad \sigma_e = F_e / A_0; \quad \sigma_{02} = F_{02} / A_0;$$

$$\sigma_{el} = F_{el} / A_0; \quad \sigma_{pr} = F_{pr} / A_0; \quad \delta = 100 \cdot \Delta L_{max} / L_0;$$

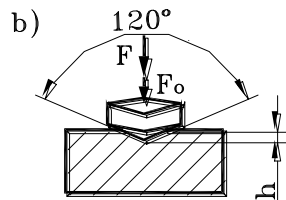
$$\psi = 100 \cdot (A_0 - A) / A_0; \quad A = \pi \cdot (d_1 + d_2)^2 / 16; \quad S_r = F_r / A;$$

$$C_{el} = \sigma_{02} / \sigma_r; \quad E = (F_{pr} \cdot L_0) / (A_0 \cdot \Delta L_{pr});$$

Ensaio de dureza

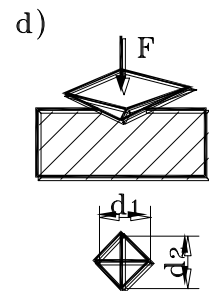
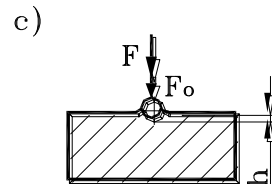


$$HB = 2F / [\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})];$$



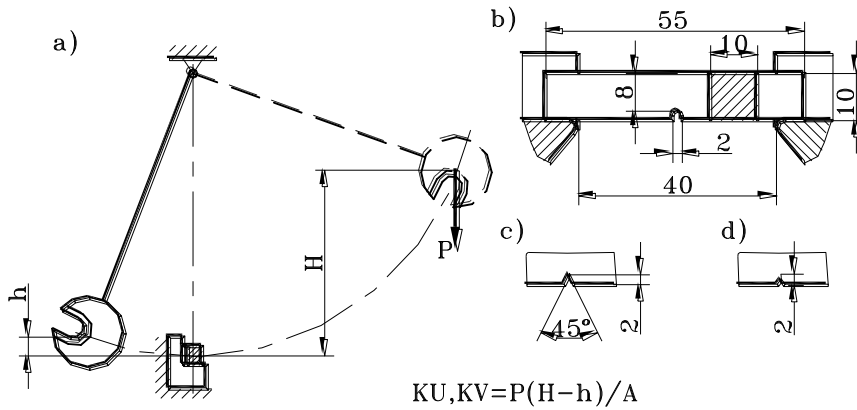
$$HRC = HRA = 100 - (h - h_0) / 0,002;$$

$$HRB = 130 - (h - h_0) / 0,002;$$



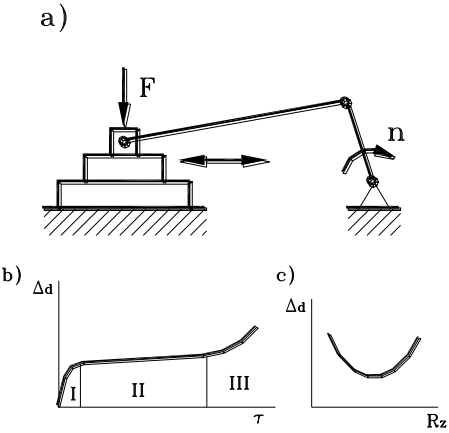
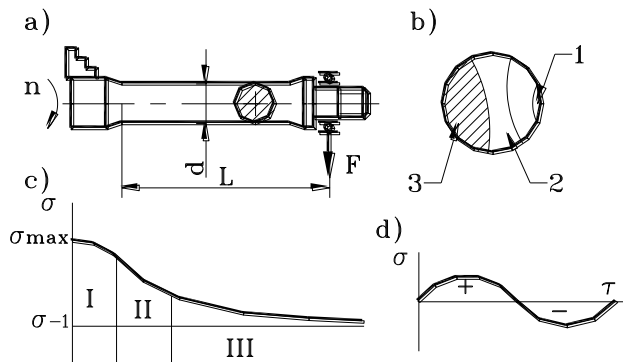
$$HV = 1,8544 F / d^2$$

Ensaio de resiliência



Ensaio de fadiga

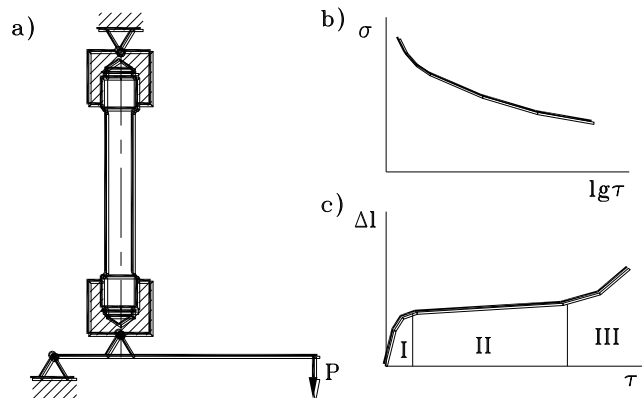
Ensaio de desgaste



$$\sigma_f = (P \cdot L) / W_x$$

$$\Delta\delta = f(R_a, \text{sentido}, f, V, F, HB, \text{lubrific.}, \text{meio (pó)}, t^0)$$

Ensaio de fluência



Limites das Propriedades dos Materiais

Propriedade, unidade	Valores limites	Classes de materiais com propriedades limites	
		Mínimas / baixas	Máximas / altas
Propriedades físicas			
Parâmetros dos átomos: m_a , N_e , p , n , r_a	$m_a=1-266$	Li, Be, Na, Mg, Al, ...	Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Pb, Bi, ...
	$N_e, p=1-106$		
	$r_a=0,37-2,74\text{Å}$		
Tipo da rede cristalina	C8	Fe $_{\alpha}$, Cr, Mo, V, W, Ti $_{\beta}$,...	
	C12	Al, Cu, Ni, Pb, Ag, Au, Pt, Fe $_{\gamma}$...	
	H12	Mg, Ti $_{\alpha}$, Co $_{\alpha}$, Zr, Cd, Hf, Tl $_{\alpha}$, ...	
	H6, ...	C, Zn, Hg, ...	
Densidade $\gamma(\rho)$, g/cm ²	0,1÷22,6	Plásticos porosos (espumas, esponjas), cortiça, alg. Madeiras, alg. Plásticos, Mg e L. (ligas), Al e L., Ti e L.	Os, Ir, Pt, Re, Au, W e L. (ligas), LD (ligas duras), Pb, Cu e L., Ni e L., aços
T_s , t°_f , °C	-269÷3650	H, He, Ne, F, O, N, Hg, Ga, In, Sn, Bi, Tl, Cd, Pb, Zn	C, W, Ta, Os, Mo, Ir, Nb, Ru, Hf, Zr, Cr, V, Ti, alg. compós.
α , 10 ⁶ K ⁻¹	4,4÷230	W, Cr, Zr, Ge, Ta, Si, Ru, Nb	PE, Hg, Rb, Na, Li, U
C_p , J/(kg K)	100÷2000	W, Mo	Be, Mg, Al
λ , W/(m K)	0,02÷1350	Lã, lã de vidro, Se, Te, asbesto, plást. porosos, madeira, borracha, PS, PE	Diamante, Ag, Cu e L., Al e L., Be e L., W e L.
ρ , $\mu\Omega$ cm	1,5÷150	Ag, Cu, Au, Al	MTR (Gd), Se, Ti, Zr, W
χ	Paramagn.	Elem. de 1 a 10 colunas	
	Diamagn.	Elem. de 11 a 18 colunas	
	Ferromagn.		Fe, Ni, Co, MTR
	Antimagn.		MTR
	Ferrimagn.		Fe ₃ O ₄ , mat. iônicos
f_{atr}	0,004÷0,4	Babbite Sn, Pb, PA, PU, L. Cu, L. ALCuSi, L. Zn, FFAF, pó de Fe e grafite	Plásticos com asbesto, aços rugosos
Propriedades químicas			
Resist. a corrosão em água	Baixa ÷ alta	Aços ao C	Compósitos, cerâmica, met. nobres, polímeros, Ti, Ni, Pb, Cr, Cu, Al e L., aços inox., FF
Resist. a oxidação as t° altas	Baixa ÷ alta	Mg, Al e L.	Cerâm., compósitos, met. nobres, Ti, Ni, Pb, Cr e L., aços refrat., Cu e L.
Resist. aos ácidos	Baixa ÷ alta	FF, aços C, PS, PU, PA	Au, Pb, Ti, Ni e L., PE, PVC, epoxi, cerâm., vidros, aços inox.
Resist. aos álcalis	Baixa ÷ alta	Al e L., vidros	Ni, Ti e L., aços, FF, PVC, PS, PP, PE, grafite, Cu, Zn e L.
Resist. às soluções orgân.	Baixa ÷ alta	PS, PVC, borrachas	Todas as ligas, cerâm., vidros, PTFE, PP, PA, epoxi, PE, PU, compósitos
Resist. à radiação	Baixa ÷ alta	Borrachas, PVC, PTFE	Todas as ligas, cerâm., vidros, PS, PP, PE, epoxi, compósitos

Continuação

Propriedade, unidade	Valores limites	Classes de materiais com propriedades limites	
		Mínimas / baixas	Máximas / altas
Propriedades mecânicas			
Limite de ruptura, σ_r , MPa	0,1÷2500	Plást. porosos, cortiça, borrachas, madeiras, PE, PU	AR (aços ráp.), aços p/ferram., aços A%C, L. W, alg. L. Mo, Ni, L. Cu-Be, aços c/L. M e B%C
E, GPa	0,01÷1000	Plást. porosos, cortiça, borrachas	Cerâmica dura (diamante, BN, Si ₃ N ₄ , SiC, Al ₂ O ₃), LD,
Dureza, HB (HV), MPa	20÷60000	Plást. porosos, cortiça, borrachas, PE, PTFE, PA, madeiras	Cerâmica dura, LD, aços p/ferr., aços A%C
K _{1C} , MPa m ^{1/2}	0,01÷200	Plást. porosos, cortiça, borrachas, madeiras c/grãos ⊥	Aços B%C, L. Cu, Ni, Ti
σ_r/γ , MPa/(g/cm ³)	0,6÷1000	Plást. porosos, cortiça, L. Pb, Sn, borrachas, PE	Compósitos, L. Be, Ti, Ni, AR, aços p/ferr., alg. L. Al, Mg, madeiras c/grãos //
E/ γ , GPa/(g/cm ³)	0,01÷200	Plást. porosos, cortiça, L. Pb, borrachas, PE, PP, madeiras c/grãos ⊥	L. Be, compósitos, LD, L. Ti, Ni, aços, alg. L. Al, Mg
$\sigma_r(t^0)$, MPa	0,1÷1500	Plást. porosos, cortiça, borrachas, PE, PTFE, madeiras c/grãos //	Alg. compósitos, L. Ni, aços TR (termo-resistentes), L. Ti
Resist. ao desgaste, k _a , m ² /N	6·10 ⁻¹⁶ ÷ 6·10 ⁻¹¹	Diamante, bronze Sn, Pb, Si ₃ N ₄ , SiC, FF, Al ₂ O ₃ , LD, AR, PA, aços nitrurados	L. Al, Mg, aços B%C, inox., M%C, L. Cu
Propriedades tecnológicas			
Fundição	Baixa ÷ alta	L. W, Mo, aços, L. p/deform. Mg, Al, Zn	L. Pb, L. p/fund. Zn, FF, L. Cu, Al, Mg
Trat. Sob pressão	Baixa ÷ alta	FF , L. p/fund. Zn, Mg, Al, aços A e M%C	L. Pb, L. p/deform. Cu, Al, L. Ni, aços B%C, aços inox.
Soldabilidade	Baixa ÷ alta	FF, aços A%C, aços Cr _e /Ni _e <1, aços M%C, alg. L. Mg, Al, aços Cr _e /Ni _e ≈1	Aços B%C, alg. L. Al, Cu, aços Cr _e /Ni _e >1, termoplásticos
Usinabilidade	Baixa ÷ alta	Cerâm., vidros, L. Ti, aços TR, inox., aços temperadas, Al e alg. L., aços p/ferr., aços B%C	L. Mg, Cu, FF, alg. plást., madeiras, alg. L. Al, aços corte fácil, aços M%C, A%C não temperadas
Temperabilid.	Baixa ÷ alta	Aços s/L. B%C, alg. L. Al, Mg, Cu, FF	Aços c/L. M%C, A%C, B%C, duralum., L. Cu-Be, aços s/L. M%C, A%C
Propriedades económicas			
Custo relat. aços B%C	0,1÷2000	Polímeros porosos, cerâm. porosa, madeiras, PE, PP, PVC, PS, PF, FF	LD, L. W, cerâm. dura, compósitos, L. Ti, Ni, AR, aços p/ferr., inox., L. Cu, Al, Mg, aços c/L.

Níveis das Propriedades Mecânicas

Propriedade	Nível						
	M.Baixo	Baixo	Reduzido	Médio	Elevado	Alto	M.Alto
HB, kgf/mm ²	<50	50÷150	150÷220	220÷280	280÷350	350÷450	>450
σ_r , MPa	<150	150÷500	500÷700	700÷800	800÷1000	1000÷1500	>1500
δ , %	<1	1÷5	5÷15	15÷20	20÷30	30÷40	>40

Relações entre as propriedades mecânicas

$HB \approx (9,3 \div 11,5) HRC$; $\sigma_r \approx (3,25 \div 3,5) HB$; $\sigma_c \approx \sigma_r$ (m.plast); $\sigma_c \approx (3 \div 4) \sigma_r$ (m.fragis);
 $\sigma_f \approx 1,25 \sigma_r$ (p/aços); $\sigma_f \approx 2 \sigma_r$ (p/FF); $\tau_t \approx 0,5 \sigma_r$; $\sigma_{esm} = 0,8 \sigma_r$; $\tau_c \approx 0,8 \sigma_r$;
 $\sigma_{-1tr} \approx 0,35 \sigma_r$; $\sigma_{-1f} \approx 0,35 \sigma_r + 120$; $\tau_{-1t} = 0,25 \sigma_r$; $KU \approx 0,5 \sigma_{02} \delta$;
 $\sigma_{02} \approx (0,5 \div 0,6) \sigma_r$ (laminação a quente e recozimento); $\sigma_{02} \approx (0,6 \div 0,7) \sigma_r$ (têmpera e revenimento alto);
 $\sigma_{02} \approx (0,7 \div 0,8) \sigma_r$ (têmpera e revenimento baixo); $\sigma_{02} \approx (0,8 \div 0,9) \sigma_r$ (têmpera e revenimento médio);
 $[\sigma_r] \approx \sigma_{r(frag)/02(plast)} / K_s$; $K_s = 1,5 \div 2,5$ (4 - cargas dinâmicas).

Princípios de avaliação das propriedades tecnológicas

Propriedades de Fundição. Melhor é a liga eutética.

$t_{inf}^0 < 1000$ °C – m. bom; 1000 ÷ 1300 – bom; 1300 ÷ 1600 - satisf.; 1600 ÷ 1900 °C – mal; > 1900 °C – m. mal.

$(t_{inf}^0 - t_{fim}^0) = 0$ °C – m. bom; até 50 °C – bom; 50 ÷ 150 °C – satisfatória; centenas °C – mal.

Fluidez = f($t_{inf}^0 - t_{fim}^0$; viscosidade, tensão superficial; t_{vasam}^0 ; t_{molde}^0 ; condutibilidade térmica do molde, %Si, P, S).

Pelo fluidez: L. Pb > L. p/fund. Zn > FFC > L. Cu > L. Al > FFE > L. Ti > Aços > L. Mg.

Constricção: FFC = 0,9-1,3 %; FFE – até 1,7 %; L. Al = 0,9 – 1,5 %; L. Cu = 1,4 – 2,3 %; Aços = 2 – 2,4 %.

Extracção de gases = f($t_{inf}^0 - t_{fim}^0$; velocidade de difusão dos gases, porosidade do molde)

Propriedades de Tratamento sob Pressão. Melhor é a estrutura da fase única e > δ .

δ : > 40 % - profundamente a frio; 30 – 40 % - bom a frio; 20 – 30 % - pouco a frio, profundamente a quente; < 20 % - muito pouco a frio, profundamente a quente. Quanto < HB, σ_r e f - tanto melhor.

Estrutura: CFC – bom; CCC – satisfatório; HC – mal.

Soldabilidade. Para aços: < 0,3 %C – bom; 0,3 ÷ 0,5 %C – satisfatória; > 0,5 %C – mal.

Cr_e/Ni_e : > 1 – bom; ~ 1 – satisfatória; < 1 – mal (grande probabilidade das fendas quentes).

Usinabilidade. Melhor é a estrutura mista. Aços com $\delta > 20$ % tem > excrecência.

Quanto < HB, σ_r , δ , f, adesão e quanto > condutibilidade térmica, tanto melhor.

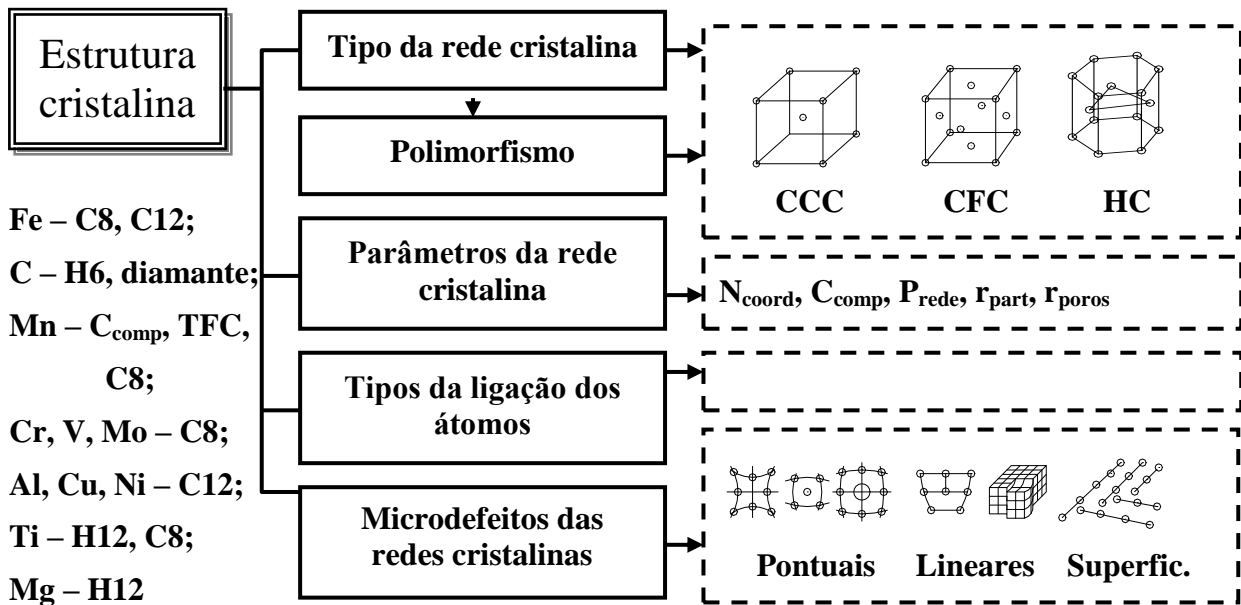
Usinabilidade M. boa - L. Mg, Zn > L. Cu > FFC > FFM; boa – alg. L. Al > FFE > Aços corte fácil > Aços M%C > A%C; satisfat. - alg. L. Al; mal - B%C, aços L. rica, L. Ti.

Temperabilidade. M. boa - aços M e A %C com 4-6 % el. liga ($d \leq d_{cr} = 60-100$ mm); boa - aços M e A %C com 2-4 % el. liga ($d \leq d_{cr} = 20-60$ mm), aços B %C com 4-6 % el. liga ($d \leq d_{cr} = 60-100$ mm), L. Al, Mg, Ti temperáveis, bronzes de Be, aços M e A %C sem liga ($d \leq d_{cr} = 10-15$ mm); satisfatória - aços M e A %C com e sem liga ($d > d_{cr}$); mal – aços B%C sem liga, L. Al, Mg, Ti não temperáveis, bronzes, latões.

Existem centenas e milhares materiais que se usam para fabricação de peças que se diferenciam pela sua composição química, estrutura, propriedades, etc

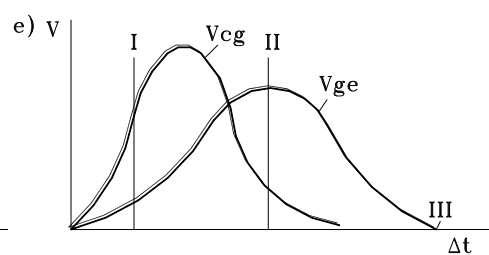
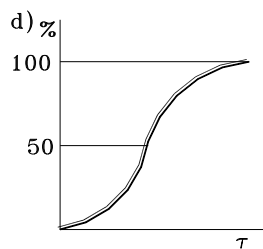
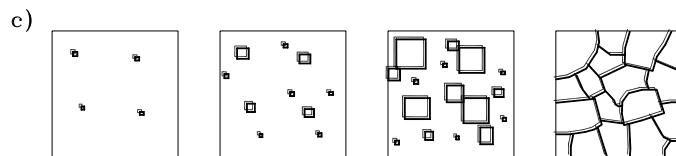
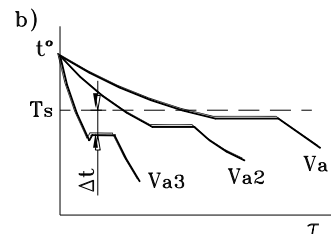
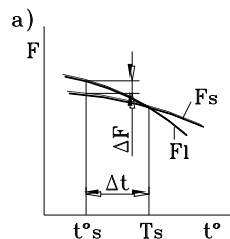
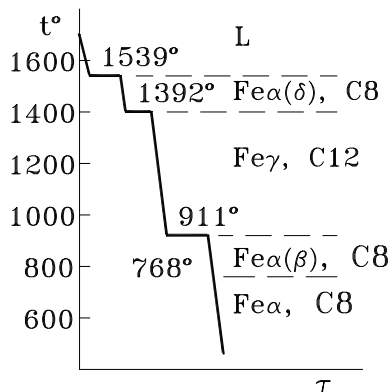
Uma peça tem que ser fabricada do material que tem propriedades físicas, químicas, mecânicas suficientes para garantir seu funcionamento seguro, para suportar todas as condições do seu funcionamento e propriedades tecnológicas e económicas suficientes para garantir sua fabricação efectiva

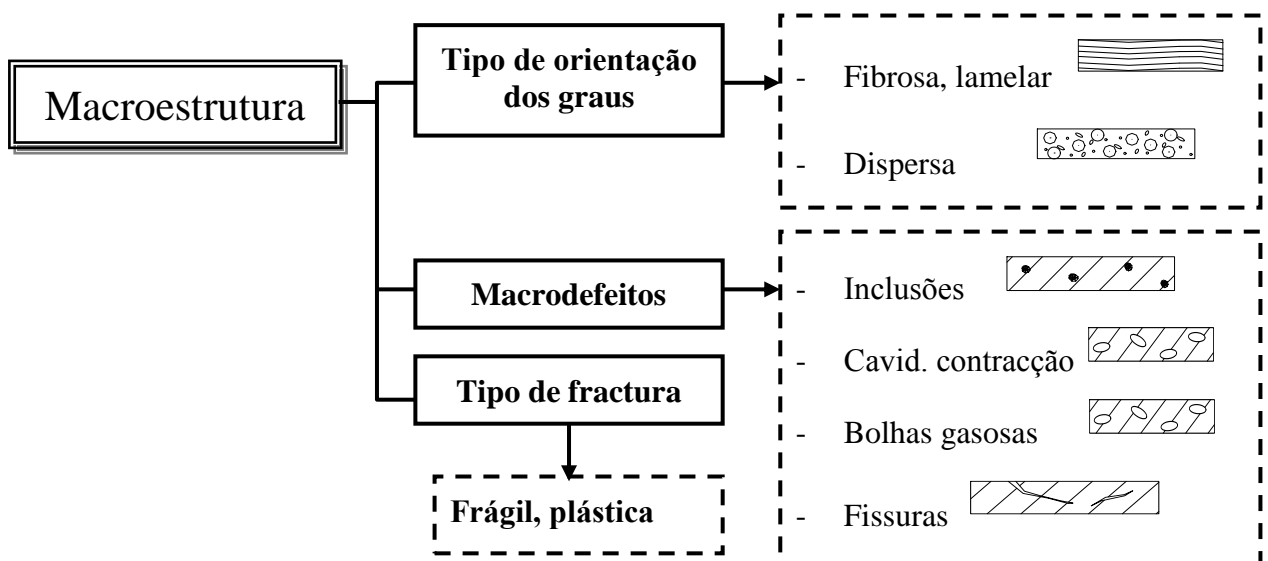
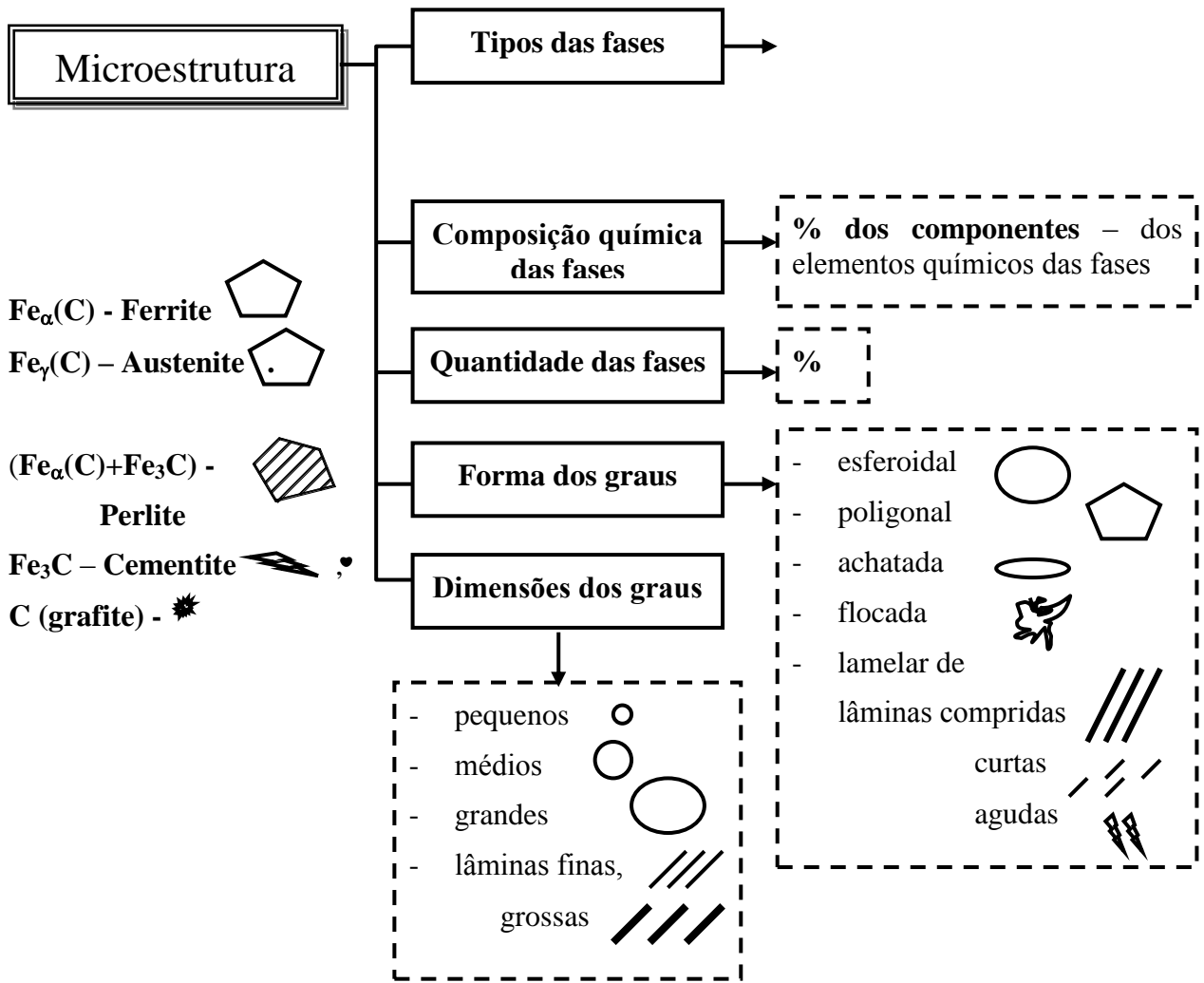
As propriedades dum material dependem da sua composição química, estrutura atômica, cristalina, microestrutura e macroestrutura

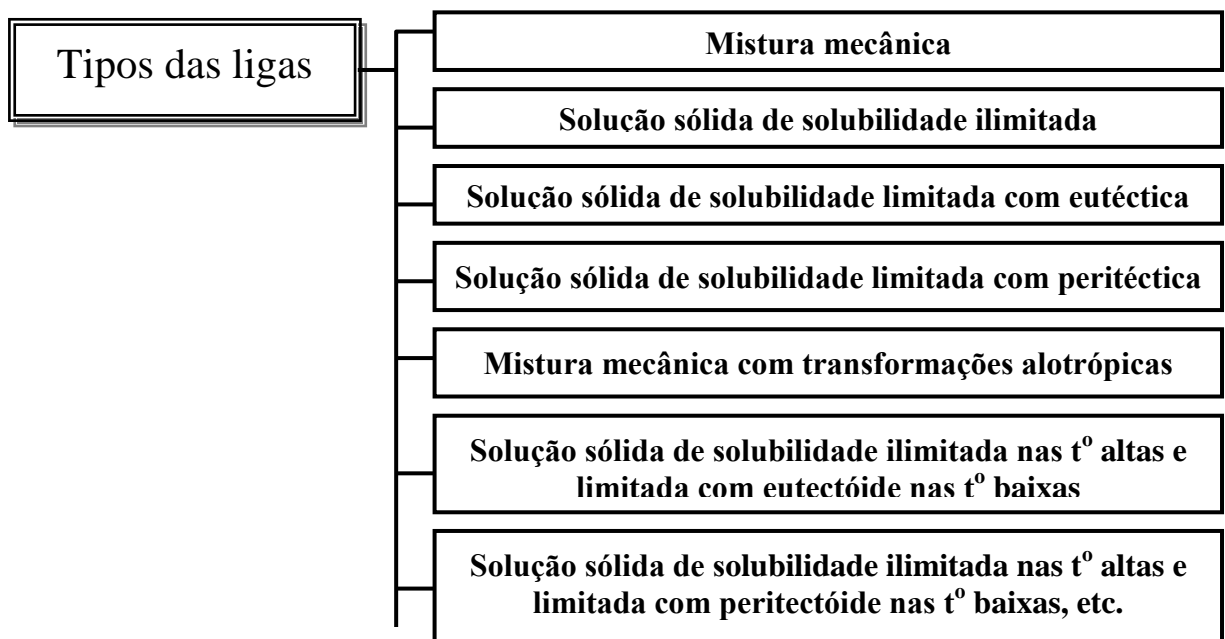
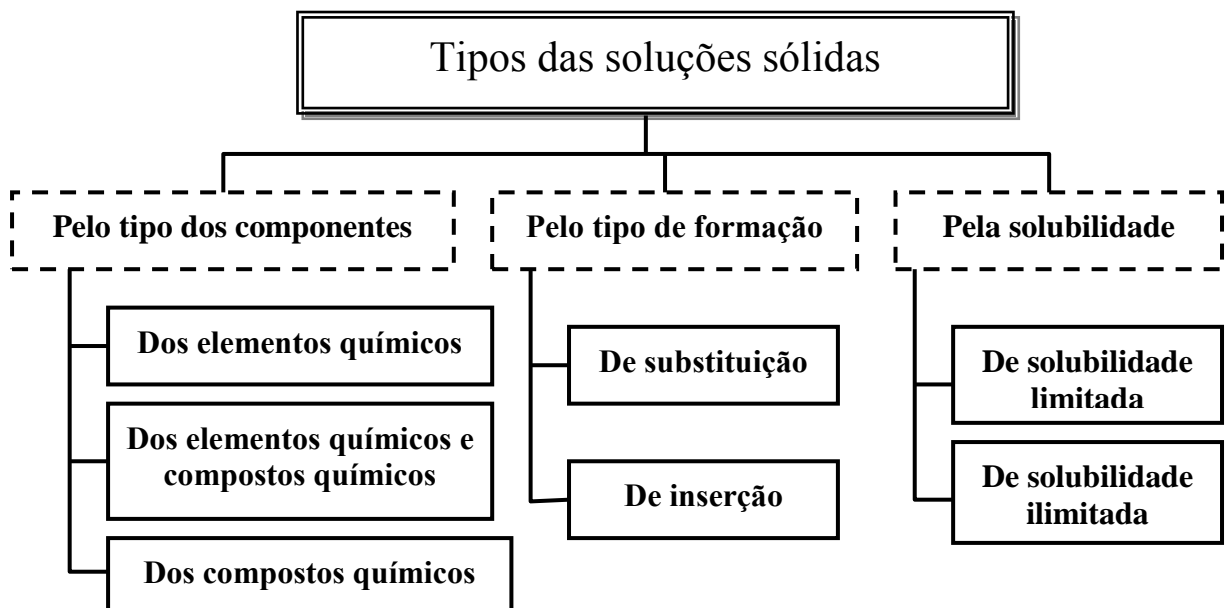
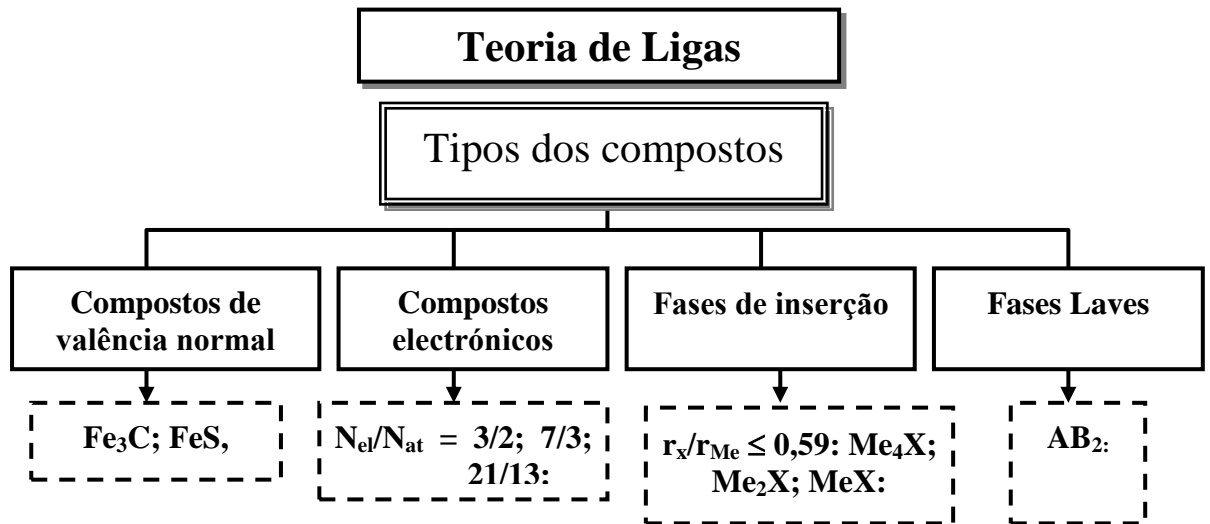


Solidificação

$$F = U - T \cdot S \quad t_s^0 = T_s - \Delta t$$

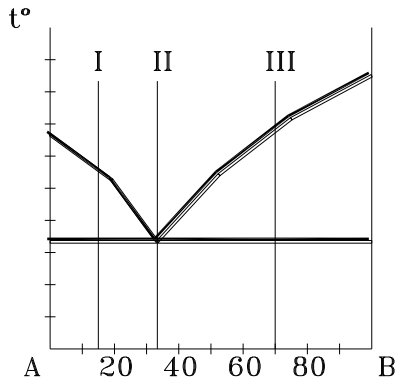




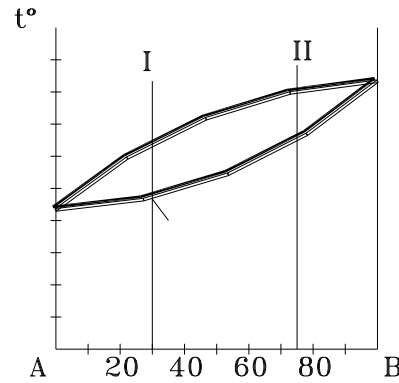


Diagramas de estado das ligas Transformações das ligas durante solidificação

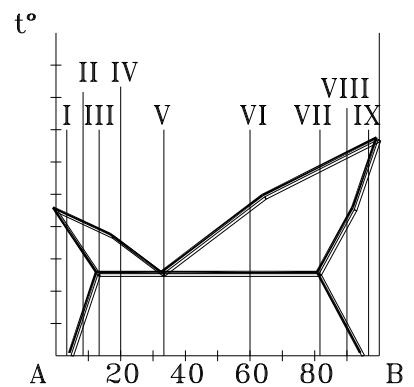
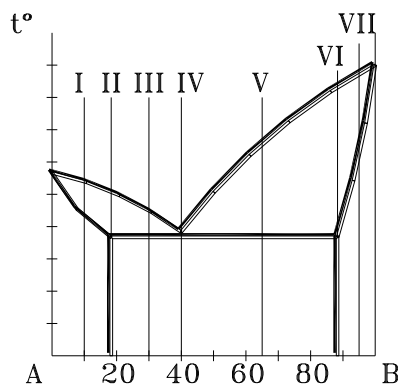
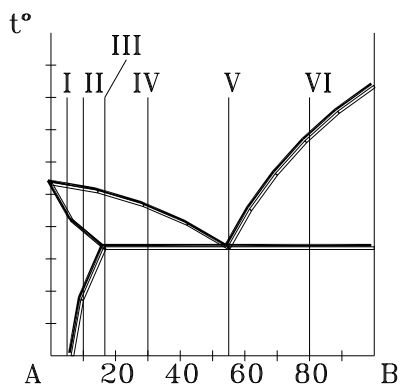
Mistura mecânica



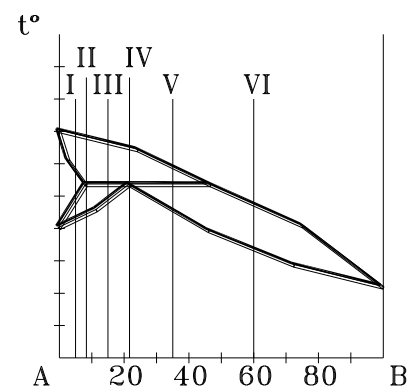
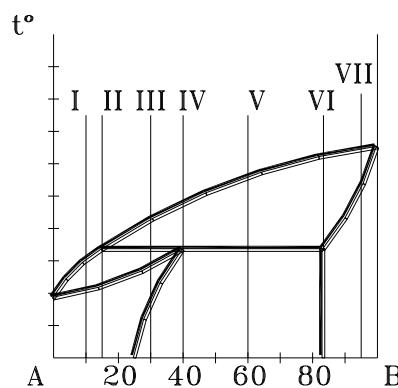
Solução sólida de solubilidade ilimitada



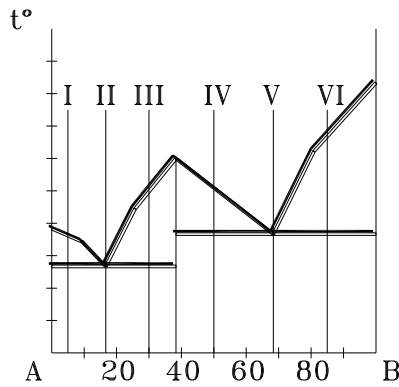
Soluções sólidas com eutética



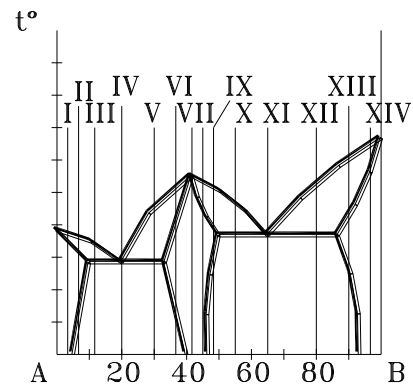
Soluções sólidas com peritética



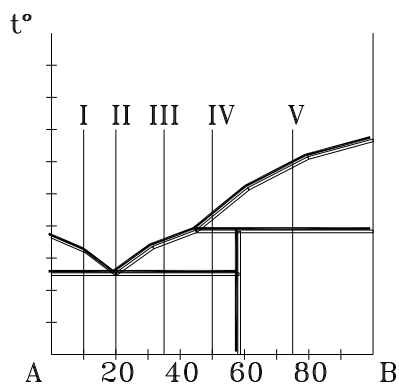
Mistura mecânica com composto estável



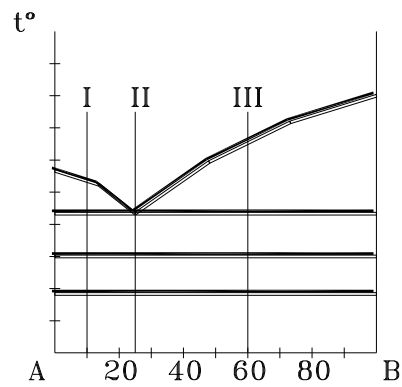
Solução sólida com composto estável



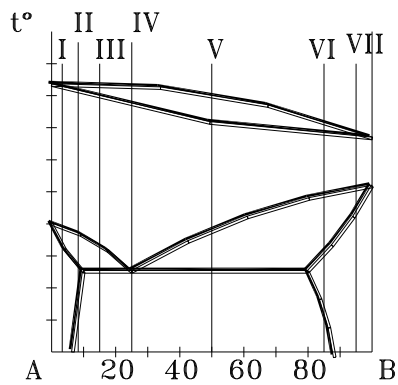
Mistura mecânica com composto instável



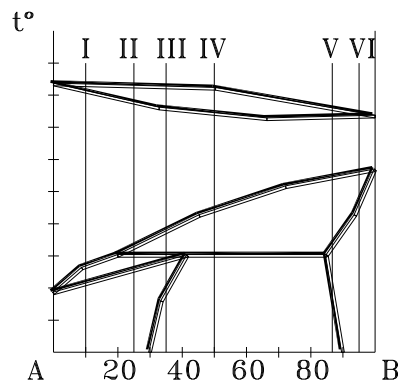
Mistura mecânica com transformações alotrópicas



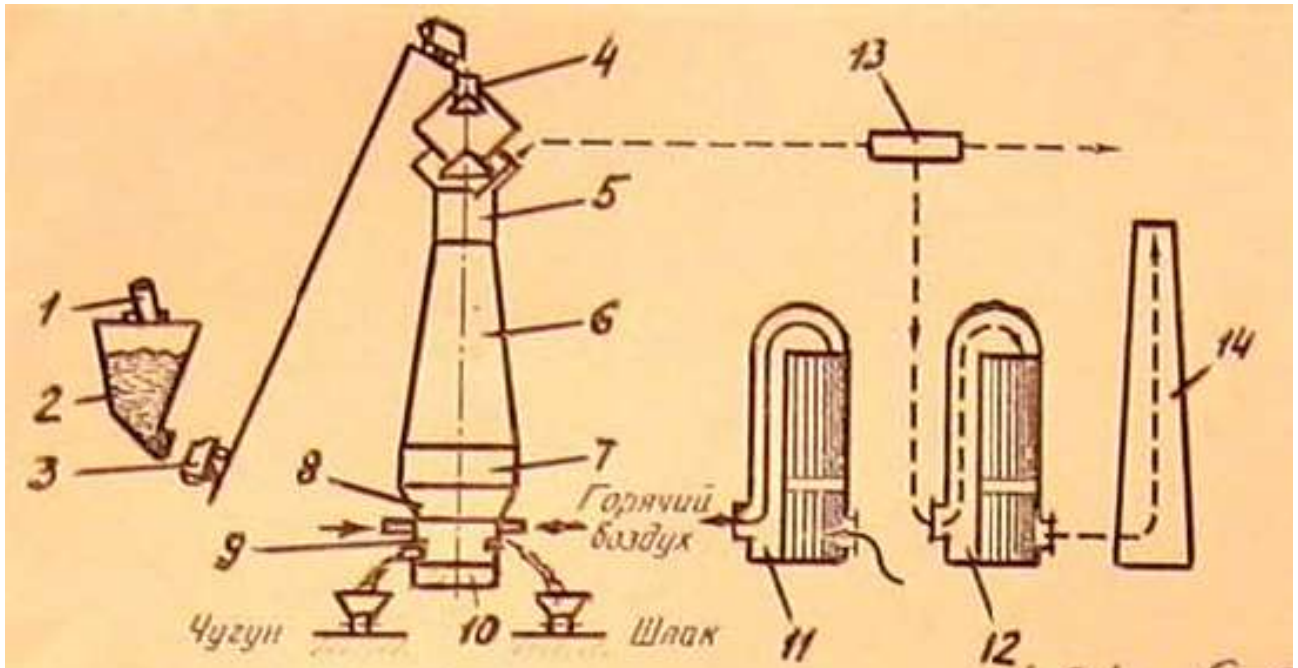
Solução sólida ilimitada nas altas temperaturas e com eutectóide às temperaturas baixas



Solução sólida ilimitada nas altas temperaturas e com peritectóide às temperaturas baixas



Metalurgia de ferros fundidos e aços

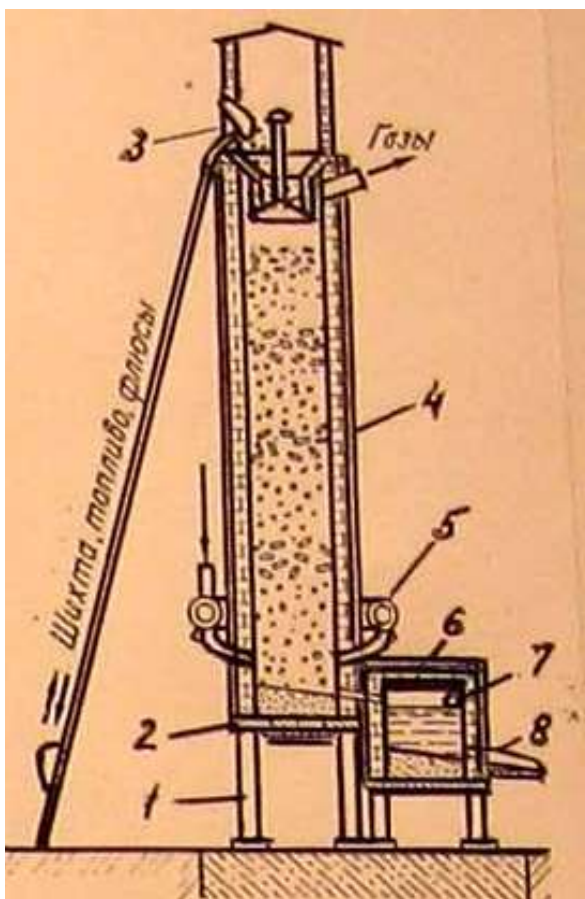


Alto-forno

1. Balança; 2. Tremonha; 3. Carrinho;
4. Disposição de carregamento; 5. Boca;
6. Cuba; 7. Ventre; 8. Colar; 9. Forno;
10. Fundo; 11 e 12. Aquecedores do ar;
13. Filtro de gases; 14. Chaminé.

Carga do alto-forno:

Aglomerado (mistura calcinada e aglomerada de minério triturado e enriquecido com coque triturado); coque; fundente (calcário CaCO_3 ou sílica SiO_2) tudo no estado sólido; ar quente

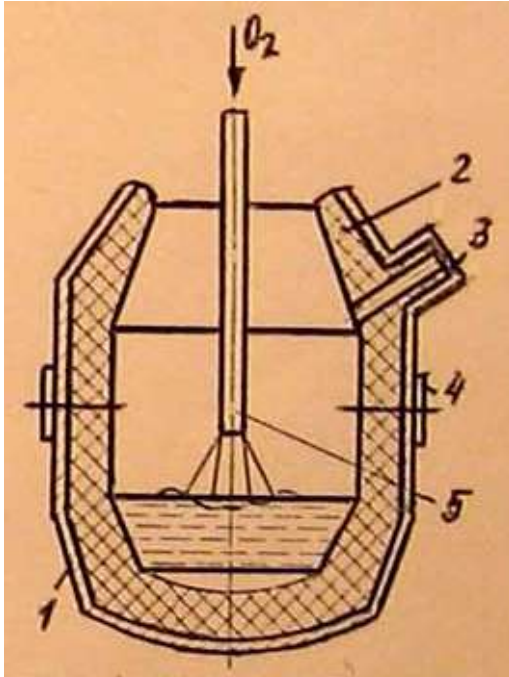


Cubilote

1. Colunas; 2. Placa de apoio; 3. Janela de carregamento; 4. Cuba; 5. Tubeira de ventoinha;
6. Antecrizol; 7. Furo escoria; 8. Furo para ferro fundido

Carga do cubilote:

Ferro fundido de afinagem, sucata (ferro velho), coque, fundente (tudo no estado sólido)

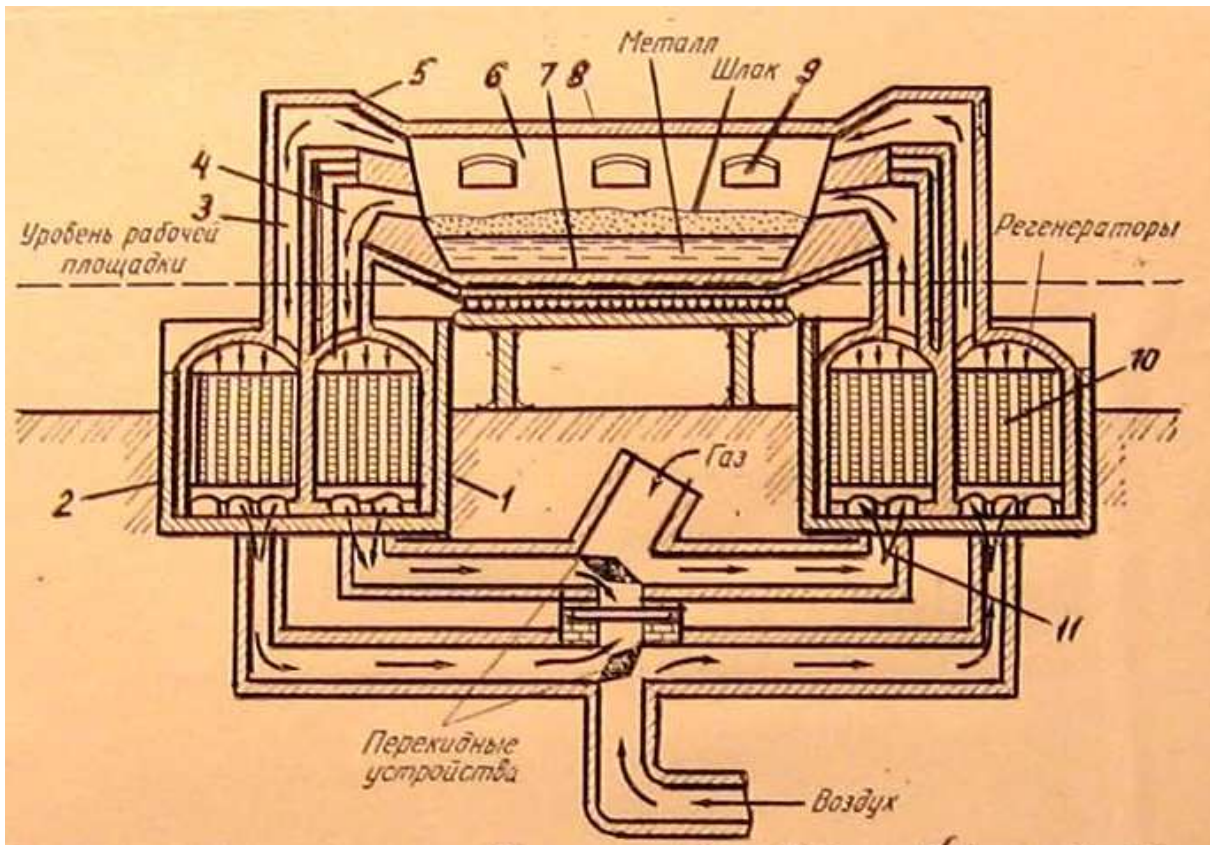


Conversor a oxigênio

1. Corpo de aço; 2. Garganta de ferro;
3. Furo de extracção de aço; 4. Cinto de apoio; 5. Tubeira.

Carga do conversor:

Ferro fundido de afinagem líquido (60-80%); oxigênio; sucata (20-30%); fundente (8-12%); desoxidantes (FeMn, FeSi, Al) no estado sólido

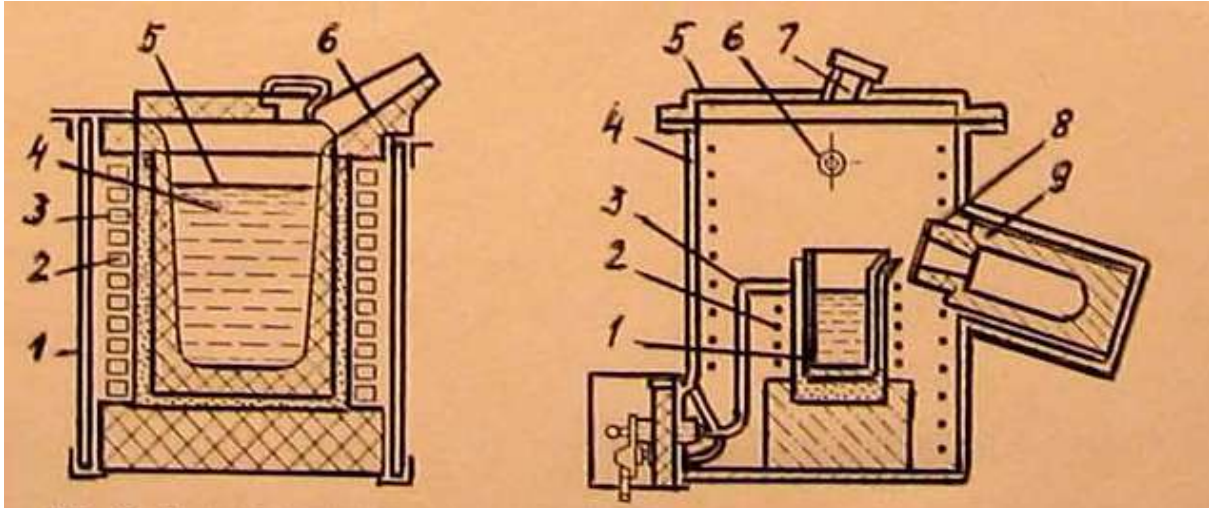


Forno Martin-Siemens

1. Geradores de gases; 2. Geradores de ar; 3 e 4. Canais verticais para ar e gases;
5. Cabeçote; 6. Área de trabalho do forno; 7. Soleira; 8. Abóbada; 9. Janela de trabalho; 10. Enchimento do gerador;
11. Conduto.

Carga de forno Matrín-Siemens:

Sucata (60-70%); ferro fundido (30-40%); cal (8-12%), desoxidantes (tudo no estado sólido)

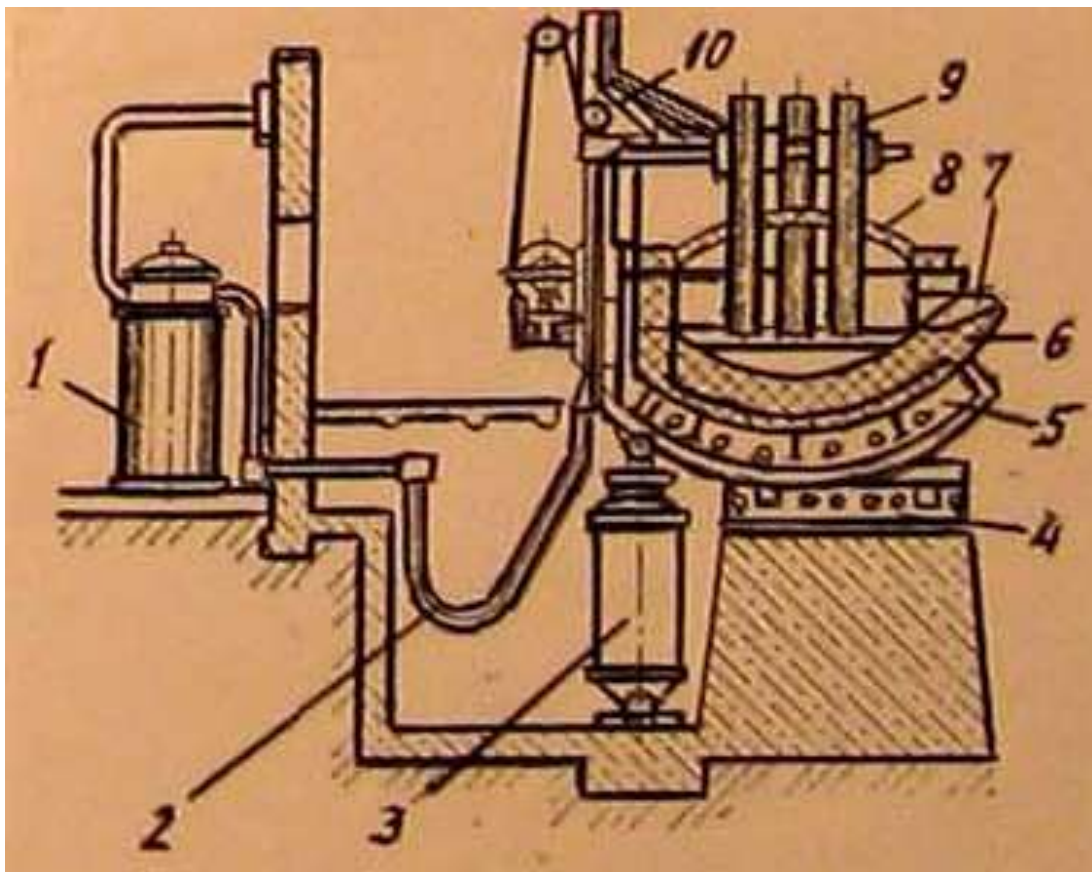


Forno eléctrico de indução

1. Invólucro; 2. Indutor; 3. Cadinho;
4. Metal; 5. Escoria; 6. Calha.

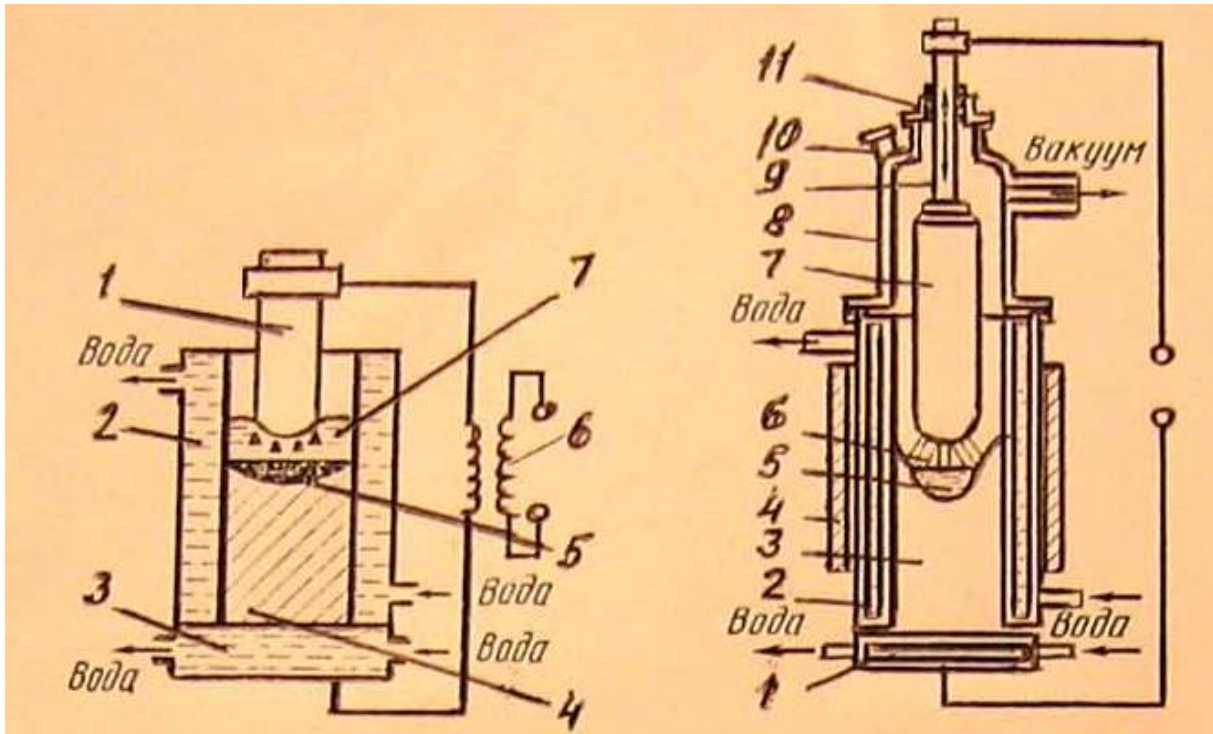
Forno eléctrico de vácuo

1. Cadinho; 2. Indutor; 3. Conductor de energia eléctrica e água; 4. Corpo da câmara de vácuo; 5. Abóbada; 6. Espiga; 7. Janela; 8. Funil; 9. Lingoteira.



Forno a arco voltaico

1. Transformador de redução; 2. Cabo; 3. Accionador hidráulico; 4 e 5. Apoios;
6. Soleira; 7. Calha; 8. Abóbada; 9. Eléctrodo; 10. Mecanismo de deslocamento dos eléctrodos

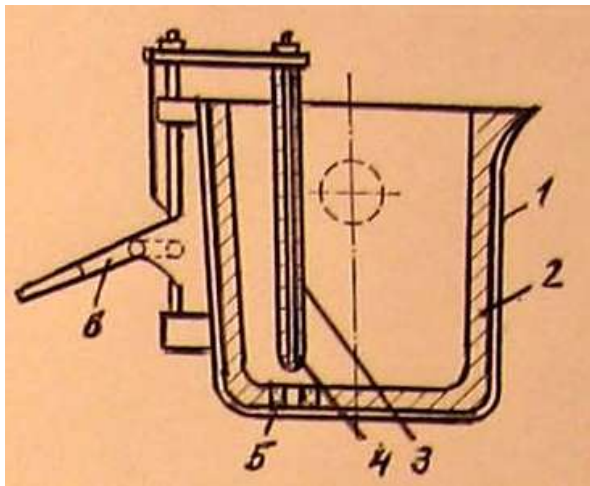


Equipamento de afinagem do aço sob escória

- 1. Eléctrodo; 2. Cristalizador de Cu;
- 3. Colector de água; 4. Lingote;
- 5. Metal líquido; 6. Transformador;
- 7. Escória fundida

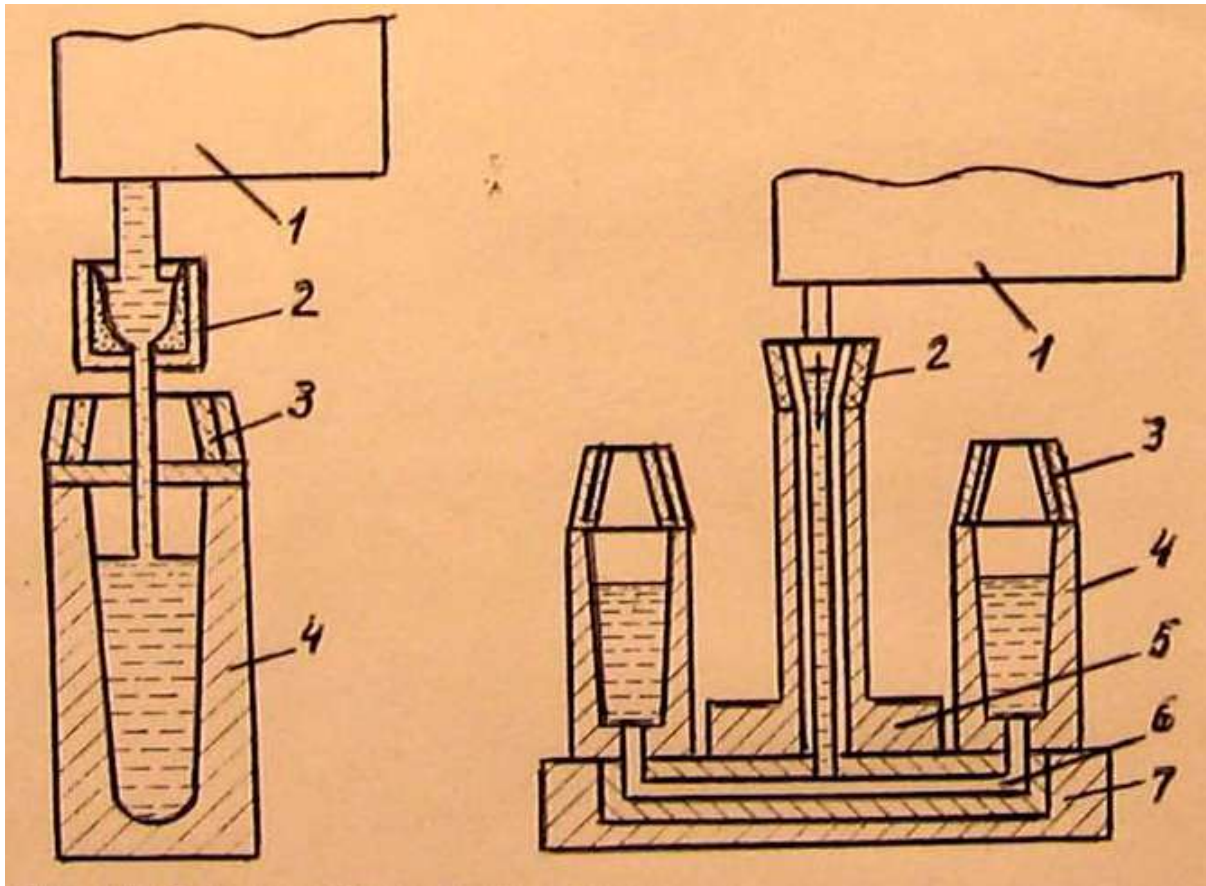
Equipamento de afinagem do aço em vácuo

- 1. Colector de água; 2. Cristalizador;
- 3. Lingote; 4. Solenóide; 5. Metal líquido;
- 6. Arco voltaico; 7. Eléctrodo;
- 8. Câmara de vácuo; 9. Haste;
- 10. Janela de visualização; 11. Vedante.



Caldeiro de vazamento

- 1. Invólucro; 2. Forro; 3. Limitador; 4. Tampa;
- 5. Copo com furo para extracção do metal;
- 6. Mecanismo de alavanca

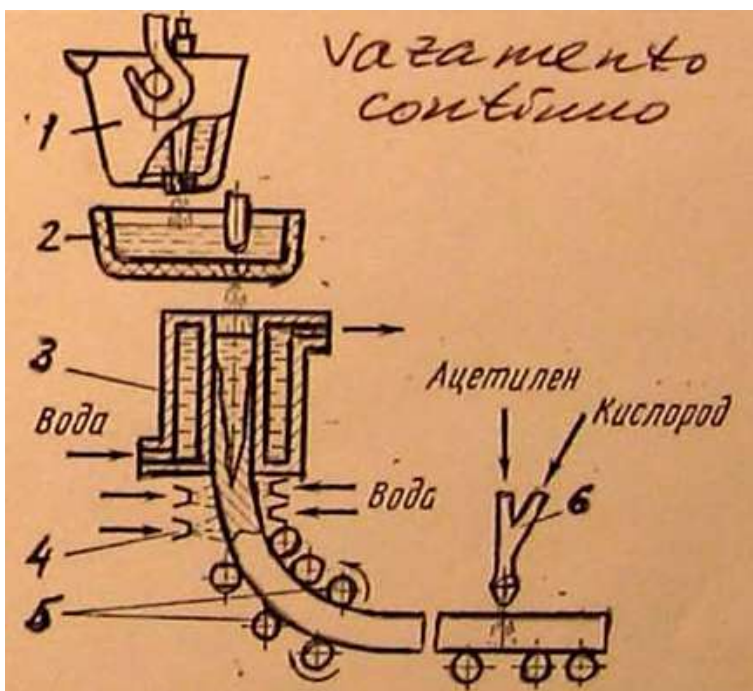


Esquema de vazamento de cima

1. Caldeiro; 2. Funil; 3; Bocal;
4. Lingoteira

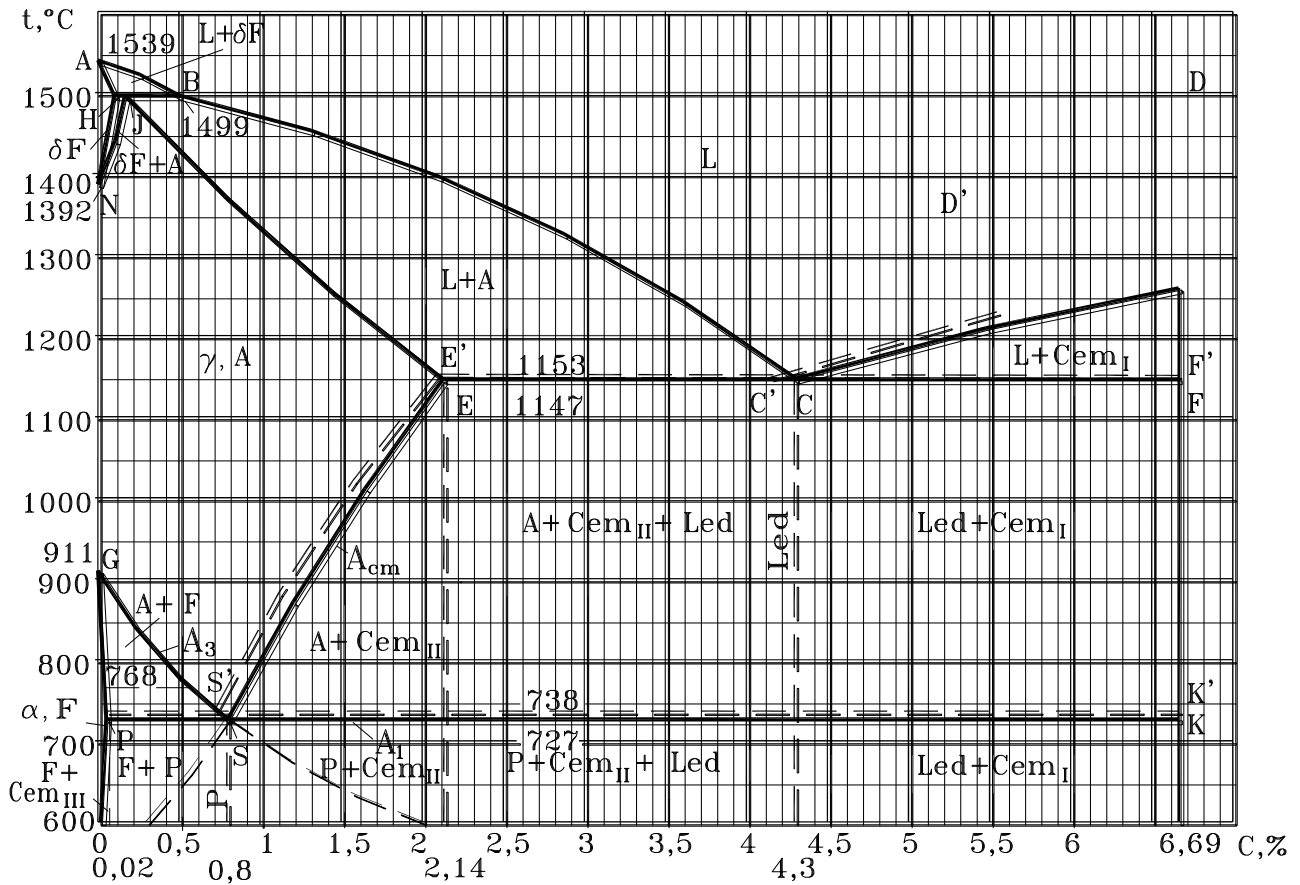
Esquema de vazamento de baixo

1. Caldeiro; 2. Coluna de vazamento; 3. Bocal;
4. Lingoteira; 5. Sapata; 6. Canal de vazamento;
7. Colector

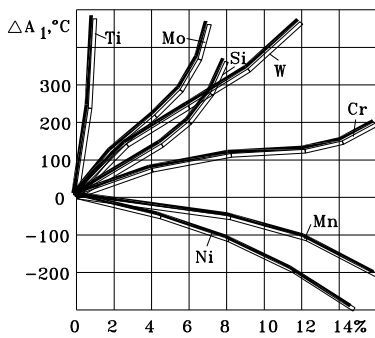


Esquema de vazamento contínuo

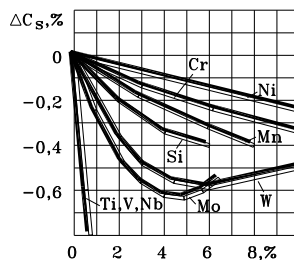
1. caldeiro de vazamento;
2. Caldeiro intermediário;
3. Cristalizador; 4. Zona de arrefecimento secundário;
5. Rolos; 6. Maçarico de acetileno e oxigénio



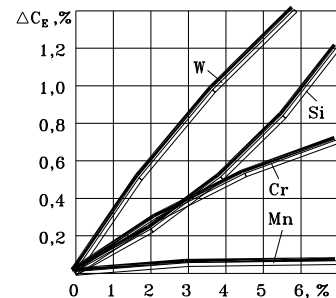
Diagramas Fe-Fe₃C e Fe-C



Variação da temperatura A₁ em função do teor dos elementos de liga



Variação do teor de carbono na eutectóide em função do teor dos elementos de liga



Variação do teor de carbono do ponto E do diagrama Fe-Fe₃C em função do teor dos elementos de liga

$$A_{1L} = 727 + \sum \Delta A_{1i} \quad C_{SL} = 0,8 + \sum \Delta C_{Si}$$

$$A_{3L} = A_3 + \sum \Delta A_{1L} + 230 \sum \Delta C_{Si}$$

$$A_{cmL} = A_{cm} + \sum \Delta A_{1i} - 314 \sum \Delta C_{Si} \quad \text{para } C_L > 0,8$$

$$A_{cmL} = A_{1L} + 314(C_L - C_{SL}) \quad \text{para } C_{SL} < C_L < 0,8$$

$$Cr_e = Cr + 2 (Al + Ti) + 1,5 Si + Mo + V + W + Nb + 0,5 Ta$$

$$Ni_e = Ni + (30 C \text{ ou } 0) + 12 B + Co + 0,5 Mn + 30 N + 0,3 Cu$$

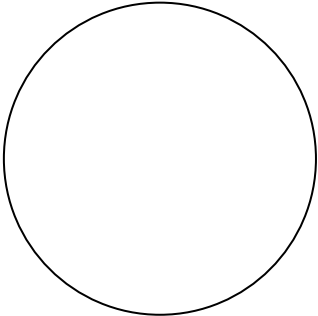
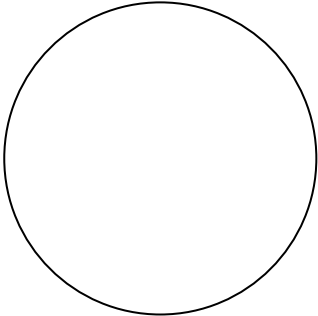
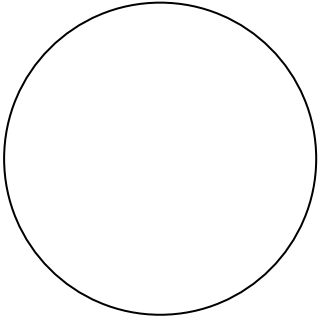
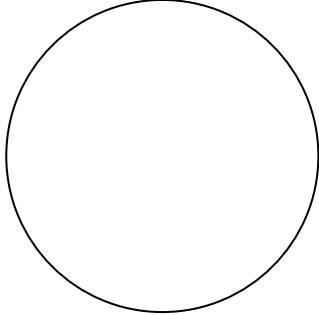
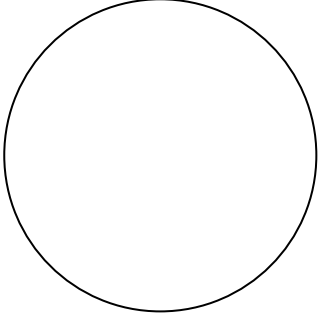
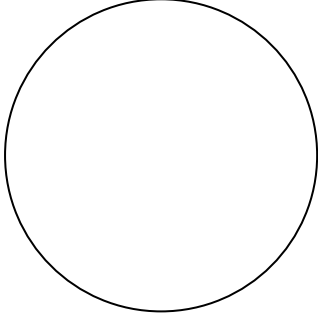
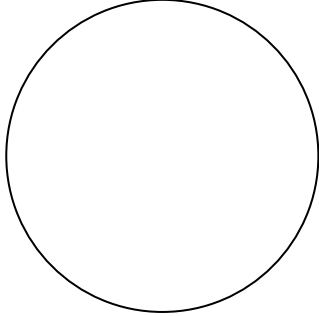
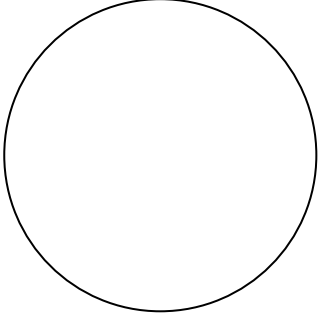
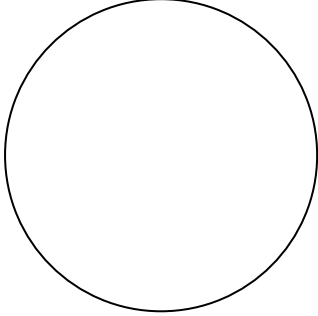
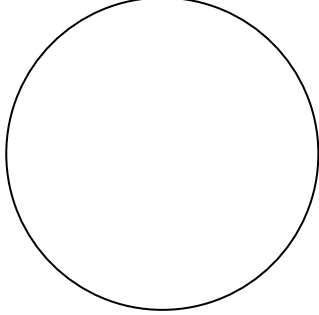
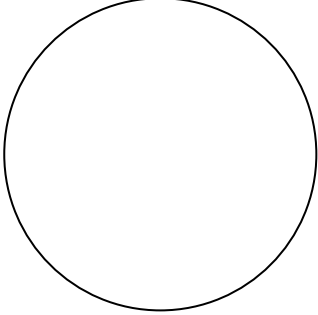
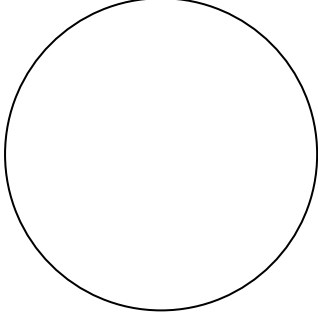
$$C_e = C + P/2 + Mo/4 + Cr/5 + Mn/6 + Cu/13 + V/14 + Si/24 + Ni/40$$

$$Cr_e / Ni_e > 1;$$

$$C_e \leq 0,48\%;$$

$$C \leq 0,25\%$$

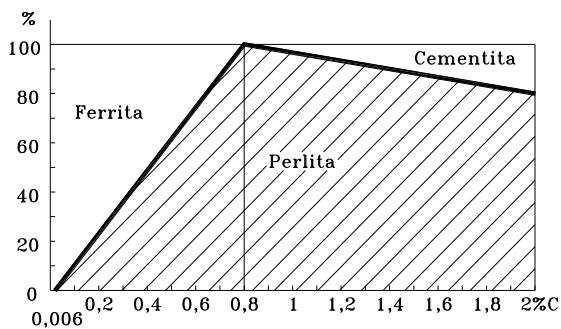
Microestruturas dos aços esfriados lentamente

 0,1 %C	 0,2 %C	 0,3 %C
 0,4 %C	 0,5 %C	 0,6 %C
 0,7 %C	 0,8 %C	 1 %C
 1,2 %C	 1,4 %C	 1,6 %C

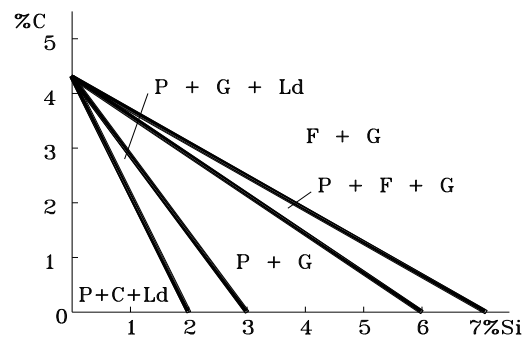
Microestrutura dos ferros fundidos

Forma da grafita / Tipo da base	Ferro fundido cinzento (grafite lamelar)	Ferro fundido maleável (grafite flocada)	Ferro fundido esferoidal (grafite esferoidal)
Ferrítica			
Ferrítico-perlítica			
Perlítica			
Ferro fundido branco	Hipoeutético, %C<4,3	Eutético, %C=4,3	Hipereutético %C>4,3

Diagramas de determinação da estrutura dos aços e ferros fundidos

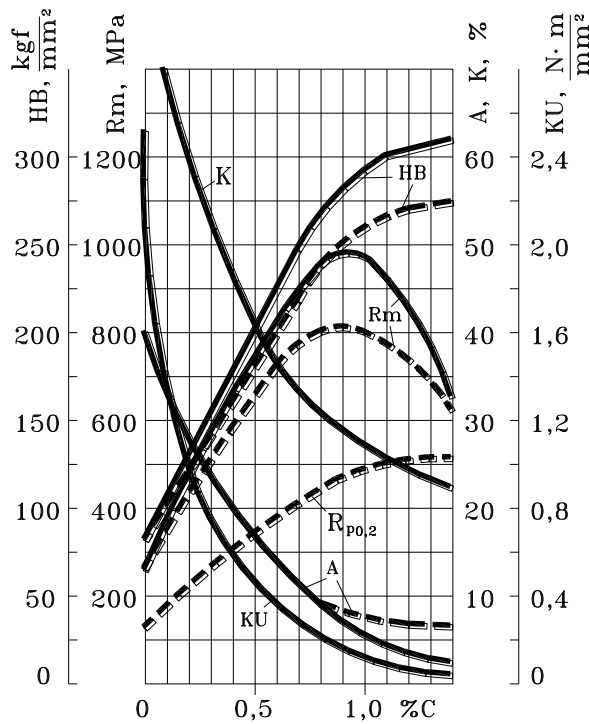


Estrutura dos aços

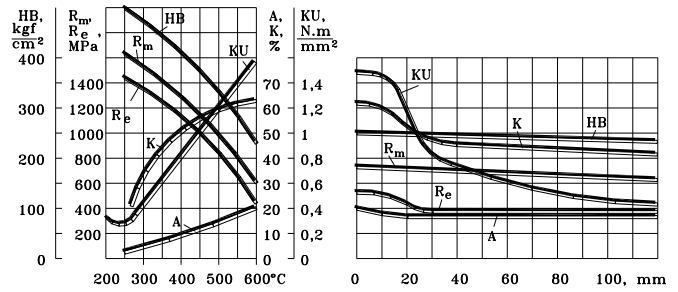


Estrutura dos ferros fundidos

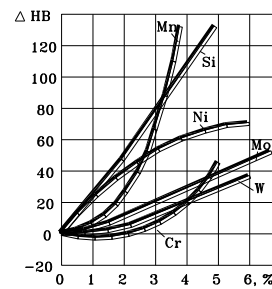
Diagramas de propriedades mecânicas dos aços



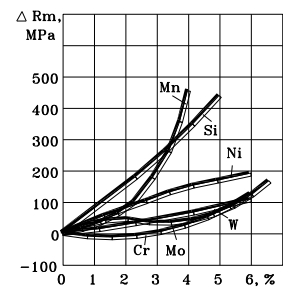
Propriedades do aço ao carbono no estado recozido (tracejado) e laminado a quente em função do teor de carbono



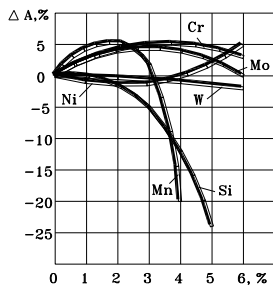
Propriedades mecânicas do Aço 40 temperado em função da temperatura de revenimento e do diâmetro da peça



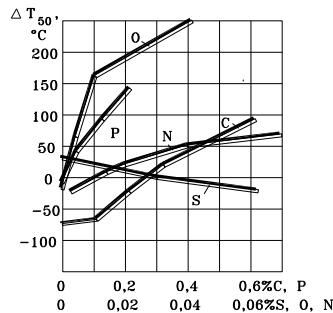
Varição da dureza da ferrita em função do teor dos elementos de liga



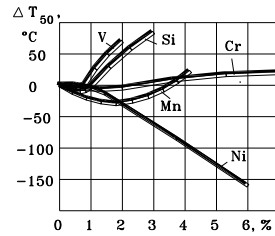
Varição da resistência Rm da ferrita em função do teor dos elementos de liga



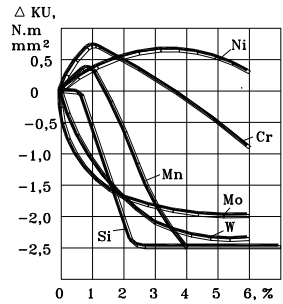
Varição do alongamento relativo da ferrita em função do teor dos elementos de liga



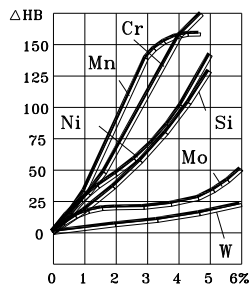
Varição do limite de fragilidade a frio do ferro em função do teor de C e das impurezas



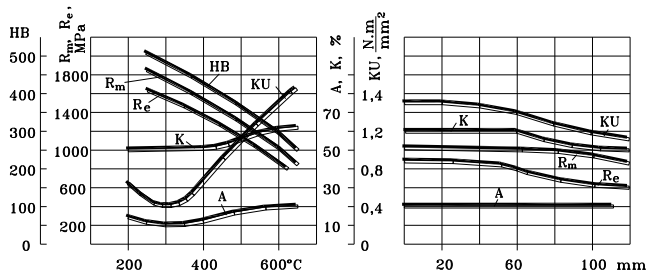
Varição do limite de fragilidade a frio do ferro em função do teor dos elementos de liga



Varição da resiliência da ferrita em função do teor dos elementos de liga



Varição da dureza depois de tempera e revenimento alto em função do teor dos elementos de liga



Varição das propriedades mecânicas do aço 40CrNiMo4 temperado em função da temperatura de revenimento e diâmetro da peça

Designação dos aços segundo GOST

Aços de constr. ao C ordin.

$Fe + C \leq 0,5\% + \text{Impurezas (Mn } 0,25/0,8\%; \text{ Si } 0,05/0,35\%; \text{ S } \leq 0,05\% (0,06); \text{ P } \leq 0,04\% (0,07))$

Pode ser uma letra:

A (omite-se) – fornecim. por propr. mecân.; sem deform. a quente, Trat.Térm. e sold.;

Б (M/K) – fornecim.por compos. quím.; p. ser deform. a quente e Trat. Térm. (**M** – fabr. no Martin-Simens; **K** – no conversor);

B – fornecim. por compos. quím. e propr mecân.; p. ser deform. a quente, Trat. Térm. e sold.

Raiz obrigatória	Número p\ordem
Letras Ciril.:	0
	1
	2
	...
	6

Podem ser 2^{as} letras do nível de desoxid.:

kn – eferv.;

nc – semi-calmo;

cn - calmo

Pode ser número categor.:

1

2

...

6

Ex.: **Ст3, ВСт1кп, КСт6сп, ВСт3пс-4**

Aços de constr. ao C de qualid.

$Fe + C \leq 0,6\% + \text{Impurezas (Mn } 0,3/0,8\%; \text{ Si } 0,1/0,4\%; \text{ S } \leq 0,045\%; \text{ P } \leq 0,035\%; \text{ Cr, Ni, Cu } \leq 0,3\%; \text{ As } \leq 0,08\%)$

Dois algarismos:

% médio C x 100

Pode ser letra cirílica

Л - p/fundição

Ex.: **20 (C~0,2% +Resto);**
30Л (C~0,3%+Resto);
40 (C~0,4%+Resto)

Aços autom. (corte fácil)

$Fe + C \leq 0,5\% + \text{S } \leq 0,1/04\%, \text{ p. ser Pb, Se, Te, Ca} + \text{Impurezas (Mn } 0,6/1,7\%; \text{ Si } 0,1/0,4\%; \text{ P } \leq 0,05/0,15\%)$

Letra **A** no início (Automático), +p.ser letra **C** (Pb), **Л** (Ca)

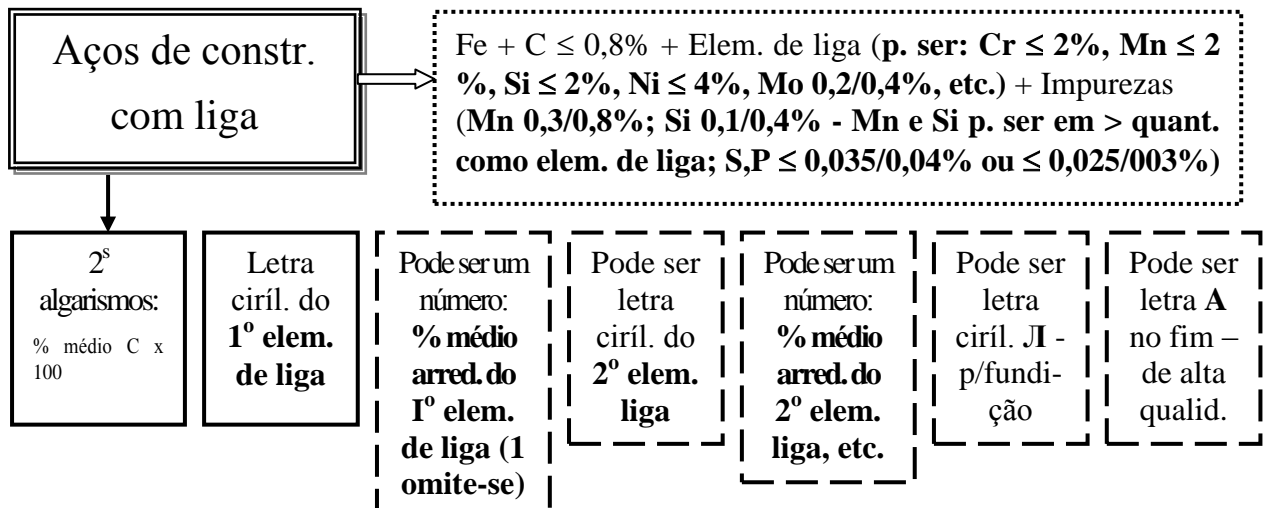
2^s algarismos:

% médio C x 100

Pode ser letra cirílica do 1^o elem. de liga

Pode ser um número: % médio arred. do 1^o elem. liga (1 omite-se), etc.

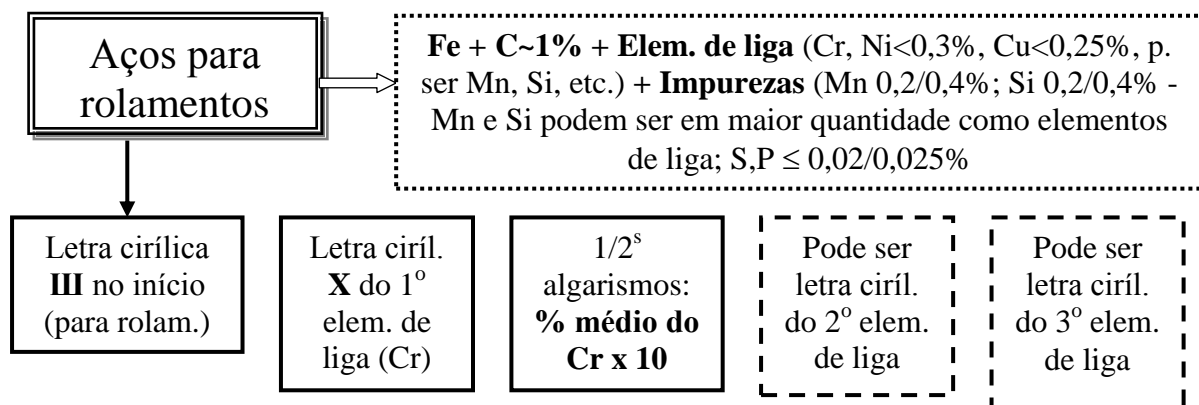
Ex.: **A20 C~0,2%; S~0,12% + Impurezas + Fe (resto);**
A40Г C~0,4%; Mn~1%; S~0,25%+ Impurezas + Fe (resto)
AC20XГHM C~0,2%; Cr,Mn,Ni 1%; Mo 0,2/0,4%; Pb 0,15/0,35%; + Impurezas + Fe (resto)
АЛ40Х C~0,4%; Cr~1%; Ca 0,002/0,008%; etc. + Impurezas + Fe (resto)



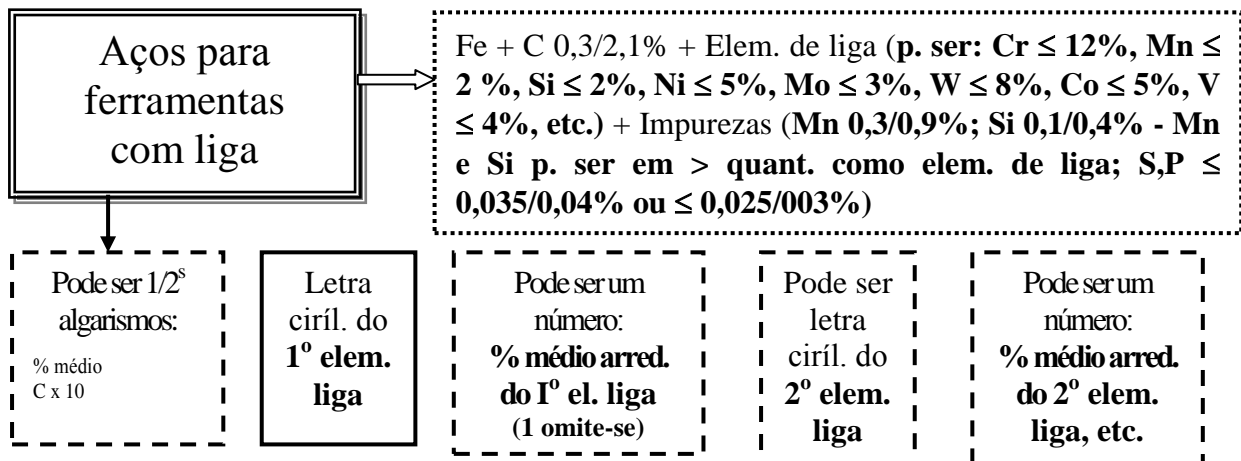
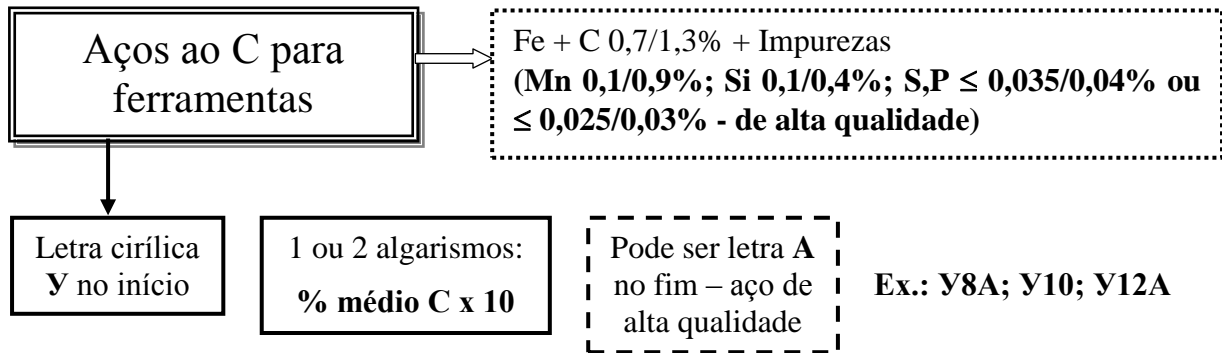
A sequência comum de apresentação dos elementos de liga na designação dos aços é seguinte:

X – Cr; Γ – Mn; H – Ni; M – Mo; B – W; Φ – V; IO – Al; D – Cu; T – Ti; P – B; Б - Nb

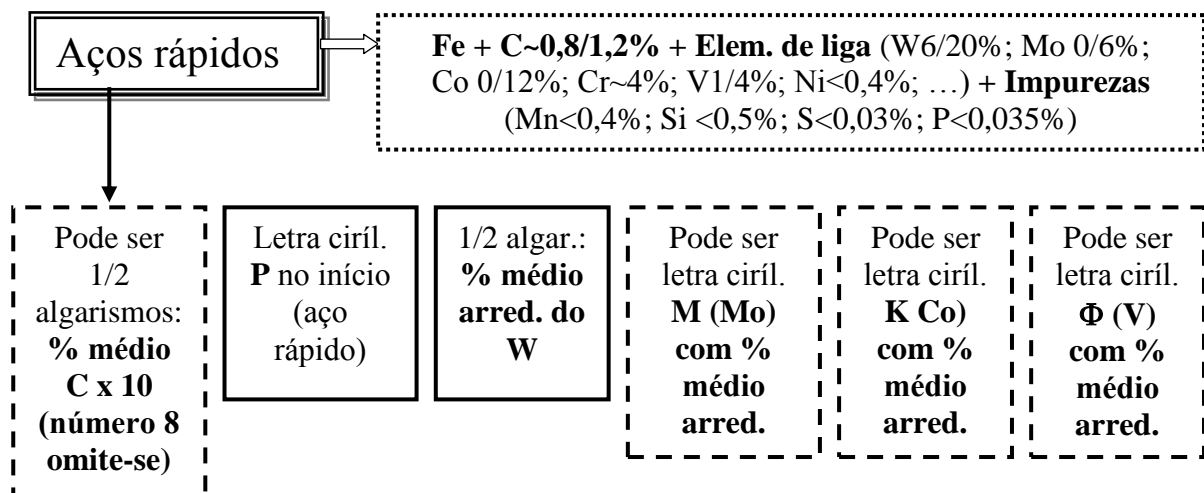
- Ex.: **20X** C~0,2%; Cr~1% + Impurezas (Mn 0,3/0,9%; Si 0,1/0,4%, S,P ≤ 0,035/0,04%) + Fe (resto)
- 40XJI** C~0,4%; Cr~1% + Impurezas + Fe (resto) – aço para fundição
- 18X2H4MA** C~0,18%; Cr~2%; Ni~4%; Mo 0,2/0,4% + Impurezas (Mn 0,3/0,9%; Si 0,1/0,4%, S,P ≤ 0,025/0,03%) + Fe (resto) – aço de alta qualidade
- 08X18H9T** C~0,08%; Cr~18%; Ni~9%; Ti~1% + Impurezas (Mn 0,3/0,9%; Si 0,1/0,4%; S,P ≤ 0,035/0,04%) + Fe (resto)



- Ex.: **IIIХ9** C~1%; Cr~0,9%, Ni<0,3%, Cu<0,25% + Impurezas + Fe (resto);
- IIIХ15ГC** C~1%; Cr~1,5%, Mn~1%, Si~1%, Ni<0,3%, Cu<0,25% + Impurezas + Fe (resto)

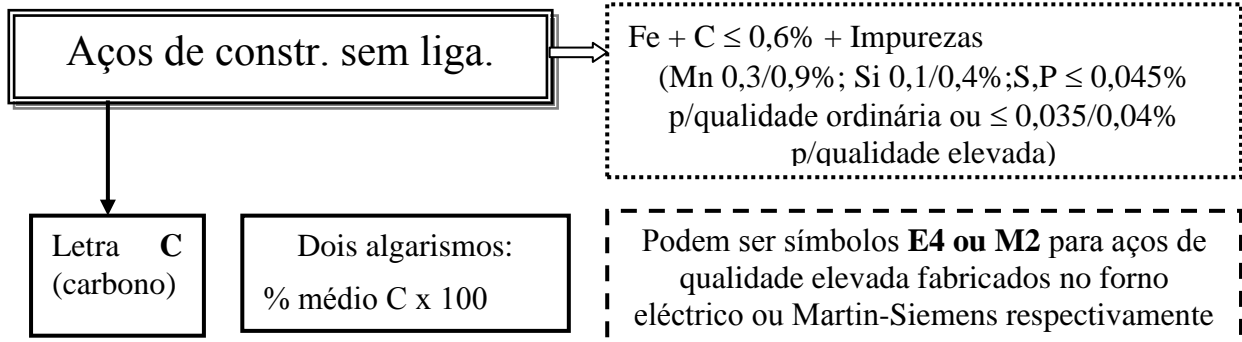


Ex.: **3X2M2Φ** C~0,3%; Cr~2%; Mo~2%; V~1% + Impurezas + Fe (resto);
XBΓ C~1%; Cr~1%; W~1%; Mn~1% + Impurezas + Fe (resto);
X12M C~1,6%; Cr~12%; Mo~1% + Impurezas + Fe (resto).

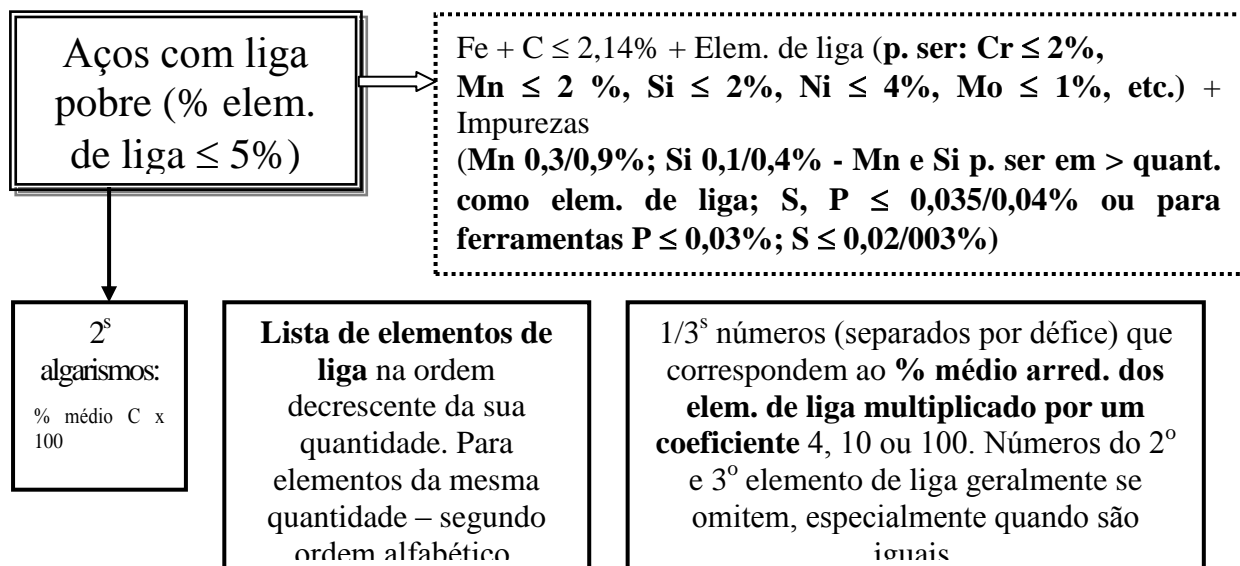


Ex.: **P18** C~0,8%; W~18%; Cr~4%; V~2%; Ni<0,4% + Impurezas + Fe (resto);
P6M5K8Φ3 C~0,85; W~6%; Mo~5%; Co~8%; Cr~4%; V~3%; Ni<0,4% + Impurezas + Fe (resto)

Designação dos aços segundo ISO

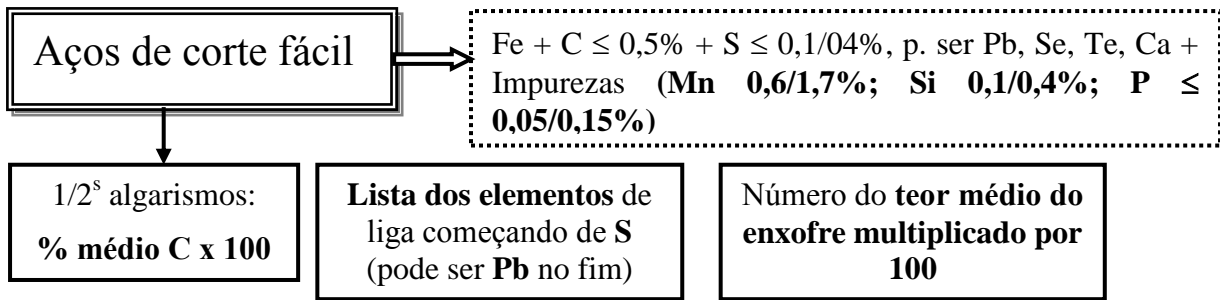


Ex.: C 20; C~0,2% + Impurezas + Fe (resto);
C 45 E4; C 60 M2

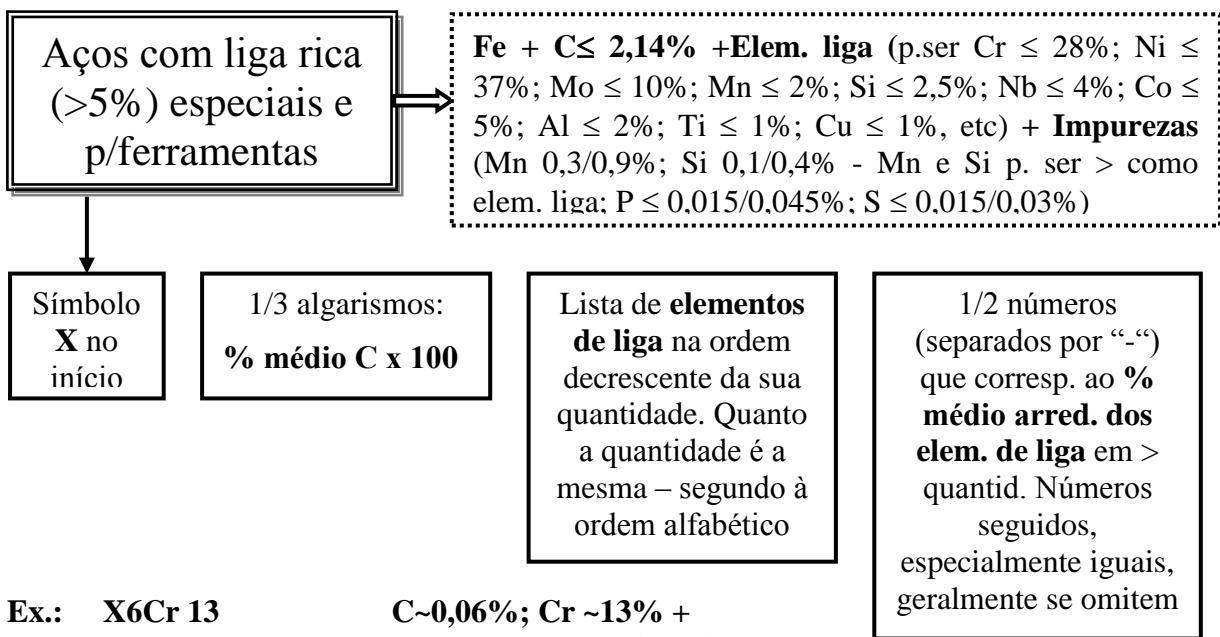


Coeficientes de multiplicação: 4 – para Cr, Mn, Si, Ni, W, Co;
10 – para Mo, Ti, V, Al, Cu, ... 100 – para B, N, ...

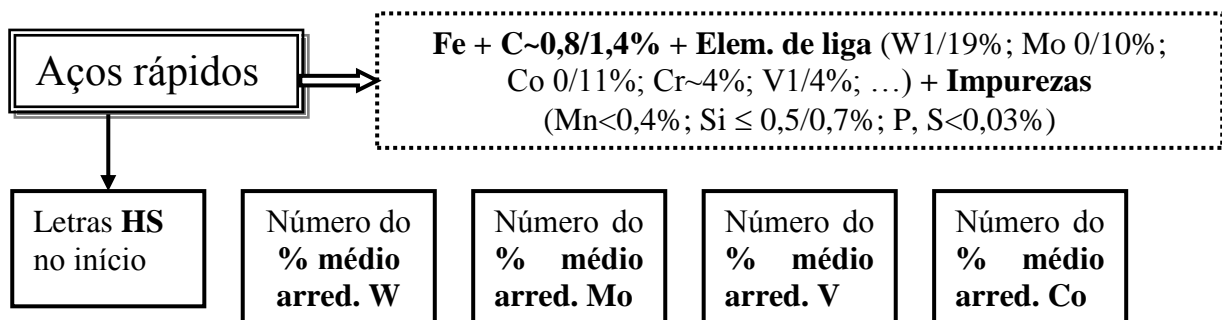
Ex.: 20Cr4 C~0,2%; Cr~1% + Impurezas + Fe (resto);
36CrNiMo4 C~0,36%; Cr~1%; Ni~1%; Mo~0,2% + Impurezas + Fe (resto);
16NiCrMo16-5 C~0,16%; Ni~4%; Cr~1,2%; Mo~0,25% + Impurezas + Fe (resto)



Ex.: 9S20 C~0,09%; S~0,2% + Impurezas +Fe (resto);
 12SMnPb35 C~0,12%; S~0,35%; Mn 1/1,5%; Pb 0,15/0,3% + ...;
 44SMn28 C~0,44%; S~0,28%; Mn 1,3/1,7% + Impurezas +Fe (resto);



Ex.: X6Cr 13 C~0,06%; Cr ~13% + Impurezas +Fe (resto);
 X108CrMo 17 C~1,08%; Cr~17%; Mo 0,4/0,8% + Impurezas + Fe (resto);
 X12NiCrSi 35-16 C~0,12%; Ni~35%; Cr~16%; Si 1/2% + Impurezas + Fe(resto)



Ex.: HS18-0-2 C~0,8%; W~18%; V~2%; Cr~4% + Impurezas + Fe (resto);
 HS6-5-3-8 C~0,8%; W~6%; Mo~5%; V~3%; Co~8%; Cr~4% + Impurezas + Fe (resto)

Designação dos ferros fundidos

GOST

DIN / ISO

**Ferros fundidos
cinzentos**

**Fe + C 2,2/3,7% + Impurezas (Si 1/3%;
Mn 0,2/1,1%; P 0,02/0,3%(1%); S 0,02/0,15%)**

Letras
cirílicas **СЧ**
no início

2^s algarismos:
resistência a
ruptura σ_r em
kgf/mm²

Letras **GG**
no início

3^s algarismos:
resistência a
ruptura σ_r em
MPa

Ex.: **СЧ 20** ($\sigma_r = 20$ kgf/mm²);
 СЧ 40 ($\sigma_r = 40$ kgf/mm²);

GG 200 ($\sigma_r = 200$ MPa);
GG 350 ($\sigma_r = 350$ MPa);

**Ferros fundidos
maleáveis**

**Fe + C 2,4/2,9% + Impurezas (Si 1/1,6%;
Mn 0,2/1%; P ≤ 0,2%; S ≤ 0,2%)**

Letras
cirílicas
КЧ no
início

2^s algar.:
limite de
ruptura σ_r
em
kgf/mm²

1/2^s algar.:
alongam.
relativo
 δ em %

Letras
GTB
ou **W**
ou **P**

2^s algar.:
limite de
ruptura σ_r
em
kgf/mm²

2^s algar.:
alongam.
relativo
 δ em %

Ex.:
КЧ 37-12 ($\sigma_r = 37$ kgf/mm²; $\delta = 12\%$);
КЧ 60-3 ($\sigma_r = 60$ kgf/mm²; $\delta = 3\%$);
КЧ 80-1,5 ($\sigma_r = 80$ kgf/mm²; $\delta = 1,5\%$);

GTB 35-10 ($\sigma_r = 35$ kgf/mm²; $\delta = 10\%$);
GTW 40-05 ($\sigma_r = 40$ kgf/mm²; $\delta = 5\%$);
GTP 80-01 ($\sigma_r = 80$ kgf/mm²; $\delta = 1\%$)

**Ferros fundidos
esferoidais**

**Fe + C 3/3,6%; Mg 0,02/0,08% + Impurezas
(Si 1,1/2,9%; Mn 0,3/0,7%; P <0,1%; S <0,02%)**

Letras
cirílicas
БЧ no
início

2/3^s algarismos:
limite de
ruptura σ_r em
kgf/mm²

Letras
GGG
no
início

3^s algar.:
limite de
ruptura σ_r
em MPa

2^s algar.:
alongam.
relativo
 δ em %

Ex.: **БЧ 60** ($\sigma_r = 60$ kgf/mm²);
 БЧ 120 ($\sigma_r = 120$ kgf/mm²);

GGG 600-3 ($\sigma_r = 600$ MPa; $\delta = 3\%$)
GGG 800-2 ($\sigma_r = 800$ MPa; $\delta = 2\%$)

Exemplos dos aços e ferros fundidos segundo GOST

Aços de construção ao carbono ordinários:

BC_T1kn; BC_T1nc; BC_T1cn; BC_T2kn; BC_T2nc; BC_T2cn; BC_T3kn; BC_T3nc; BC_T3cn;
KC_T4nc; KC_T4cn; KC_T5nc; KC_T5cn; KC_T6nc; KC_T6cn

Aços de construção ao carbono de qualidade:

05; 08; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65

Aços ao carbono para ferramentas: Y7A; Y8A; Y10A; Y12A

Aços de corte fácil (automáticos): A12; A20; A30; A40Г

Aços de construção ao carbono para fundição: 15Л; 20Л; ... até 55Л

Ferros fundidos cinzentos: CЧ15; CЧ20; CЧ25; CЧ30; CЧ35

Ferros fundidos maleáveis: KЧ33-8; KЧ37-12; KЧ50-4; KЧ63-2; KЧ80-1,5

Ferros fundidos de alta resistência: BЧ40; BЧ50; BЧ60; BЧ80; BЧ100; BЧ120

Ferros fundidos de antifricção : AЧC-1; AЧC-2; AЧC-3; AЧC-4

Aços de construção civil com liga: 14Г2; 17ГC; 25Г2C; 35ГC; 45C; 45ГC; 30ХГC;

Aços de construção com liga não temperáveis: 09Г2; 09Г2C; 10Г2C1D; 15ГФ; 15XCHD

Aços de construção com liga para cementação:

15X; 20X; 20XM; 20XH; 20XHM;

12XH3; 12X2H4A; 18XГT; 20XГCA; 18X2H4BA; 18X2H4MA

Aços de construção com liga temperáveis:

30X; 40X; 30XM; 40XM; 40XH; 40XГ; 30XГT; 40XHM; 30XГCA; 35XГCA;

30XГCH2A; 30XH3M; 38X2H2MA; 38XH3MФ

Aços de construção com liga para fundição: 35ГЛ; 40ХЛ; 40ХМЛ; 35ХГCЛ, etc.

Aços para molas:

60; 65; 70; 65Г; 60C2; Y8; 60ГC; 70C3A; 50XΦA; 50XГΦA; 60C2XΦA;

3X2B8Φ; 40X9C2; 40X10C2M; P6M5; 40X13; 95X18

Aços para rolamentos: ШХ4; ШХ9; ШХ15; ШХ15ГC; ШХ20ГC; 95X18

Aços de alta resistência ao desgaste: 110Г13Л

Aços termo-resistentes e refractárias:

12XM; 12X1MΦ; 12X2MΦCP; 15X5BΦ; 20XM; 30XM; 40XM;

15X11MΦ; 15X12BHMΦ; 40X10C2M; 09X14H16B; 45X14H14B2M 08X18H10T; 12X28H9T;
(XH77TIOP; XH55BMTΦKIO)

Aços inoxidáveis: 08X13; 12X13; 20X13; 30X13; 40X13; 30X10Г10;

08X17T; 15X25T 15X28; 10X14Г14T; 08X18H10; 08X18H10T; 12X18H12T;

08X22H6T; 12X21H5T; 10X17H13M2T; 08X21H6M2T; 06XH28MDT

Aços com liga para ferramentas:

20X; 12XH3A; 9XC; X; 12X1; XBГ; XB5;

X6BΦ; X12; X12M; X6Φ4M; X12Φ4M; 6X4M2Φ; 7X3; 6X3ΦC;

5XHM; 5XHB; 5XHT; 4XMΦC; 5X2CΦ; 5X2HMΦC;

3X2M2Φ; 3X2B8Φ; 4X2H5M3K5Φ

Aços rápidos para ferramentas:

P6M5; P18; P9K5; P14Φ4; P6M5K5; P6M5K8Φ3; P10M4K10Φ3

Ligas magnéticas duras:

Y10; Y12; EX3; EX5K5; IOHDK35T5BA; MMK1; MMK7; MMK11

Ligas magnéticas suaves (permeáveis):

1211 ÷ 1213; 1311 ÷ 1313; 1411; 2011 ÷ 2013; 2111 ÷ 2113; 2211; 3411 ÷ 3414; (79HMA)

Ligas de alta resistência eléctrica:

X13IO4; 0X23IO5; X15H60; MHMц3-12; MHMц43-0,5;

Ligas para os fins especiais: 0H6; 03H9; 03X20H16AГ6; H35XMB; H36; H48

Designação dos elementos de liga:

X - Cr; Г - Mn; C - Si; H - Ni; M - Mo; B - W; T - Ti; K - Co; Φ - V; D - Cu; IO - Al; Б - Nb; P - B

Campo e exemplos de uso dos aços e ferros fundidos

Marca (Designação)		Campo de uso	Exemplos de peças
GOST	ISO		
Aços de construção ao carbono ordinários			
BCт1kn; BCт1nc; BCт1cn	C10	Peças de construção metálica de responsabilidade normal que aqueçam pequenas cargas, de chapas finas que podem ser deformadas profundamente a frio, soldadas	Recipientes, tanques, caixas, latas, carroçaria, mobília metálica, painéis, copos, juntas, anilhas, parafusos de ancoragem
BCт2kn; BCт2nc; BCт2cn;	C15	Peças de construção metálica de responsabilidade normal que aqueçam pequenas cargas, de chapas que podem ser deformadas profundamente a frio, soldadas	Molduras, quadros, rebites, parafusos, eixos, rolos, cames, chaves, anilhas
BCт3kn; BCт3nc; BCт3cn	C20	Peças de construção metálica de responsabilidade normal que aqueçam cargas reduzidas, de chapas grossas, perfis laminados (de tipo □, L, ⊥, T, □, ○, [, etc.) que podem ser encurvadas a frio, soldadas, endurecidas superficialmente depois de cementação	Corpos, bases, estruturas metálicas, buchas, casquilhos, alavancas, eixos, estribos, anilhas, parafusos, porcas, armação do cimento. Depois de cementação – veios, eixos, puxadores, pistões de motores de pequena potência, engrenagens, parafusos sem fim
KCT4nc; KCT4cn	C25	Peças de construção metálica de responsabilidade normal que aqueçam cargas reduzidas	Veios, eixos, pinos, bielas, hastes, alavancas, olhais, parafusos, cunhas, chavetas
KCT5nc; KCT5cn	C35	Peças de construção metálica de responsabilidade normal que aqueçam cargas médias	Veios, eixos, pinos, rodas estreladas, ganchos, olhais, alavancas, porcas, parafusos, cunhas, cavilhas, armação do cimento
KCT6nc; KCT6cn	C45	Peças de responsabilidade normal que aqueçam cargas médias, podem ser temperadas	Veios, eixos, cabeças de martelo, cambotas, suportes, acoplamentos de came e de fricção, placas de cadeias, fitas de freios, chavetas, engrenagens, parafusos sem fim
Aços de construção ao carbono de qualidade			
05; 08; 10	C05E4; C05M2; C08E4; C08M2; C10E4; C10M2	Peças de construção metálica de responsabilidade elevada que aqueçam pequenas cargas, de chapas finas que podem ser deformadas profundamente a frio, soldadas, endurecidas superficialmente depois de cementação	Recipientes, tanques, caixas de frigoríficos, fogões, carroçaria, capacetes, bocais, invólucros de evaporadores, condensadores, serpentinas, tubos, juntas, anilhas, rebites. Depois de cementação – buchas, rolos, engrenagens, discos de fricção
15 20; 25	C15E4; C15M2; C20E4; C20M2; C25E4; C25M2	Peças de construção metálica de responsabilidade elevada que aqueçam cargas reduzidas, de chapas grossas, perfis laminados (de tipo □, L, ⊥, T, □, ○, [, etc.) que podem ser encurvadas a frio, soldadas, endurecidas superficialmente depois de cementação	Corpos, bases, estruturas metálicas, buchas, casquilhos, alavancas, eixos, estribos, anilhas, parafusos e porcas, tubos, elementos da sua ligação. Depois de cementação – veios, eixos, puxadores, hastes de equipamento hidráulico, casquilhos, cames, engrenagens, parafusos sem fim
30; 35	C30E4; C30M2; C35E4; C35M2	Peças de responsabilidade elevada que aqueçam cargas reduzidas, têm ductilidade média, podem ser temperadas	Porcas e parafusos, buchas, cilindros, volantes, alavancas, , luvas de uniões, discos, anilhas, chavetas, arvores principais, eixos, olhais
40; 45	C40E4; C40M2; C45E4; C45M2	Peças de responsabilidade elevada que aqueçam cargas médias, têm ductilidade suficiente, resistência ao desgaste elevada, podem ser temperadas	Veios, eixos, hastes, cambotas, veios de distribuição, suportes, alavancas, engrenagens, porcas e parafusos, anilhas, chavetas
50; 55	C50E4; C50M2; C55E4; C55M2	Peças de responsabilidade elevada que aqueçam cargas elevadas, têm elevada resistência ao desgaste, podem ser temperadas	Veios, eixos, hastes, cambotas, rolos de laminagem, excêntricos, acoplamentos por atrito, embraiagens
60; 65	C60E4; C60M2; C65E4; C65M2	Peças de responsabilidade elevada que aqueçam altas cargas, têm alta resistência ao desgaste, podem ser temperadas	Rolos de laminagem, excêntricos, discos de embraiagens, molas não responsáveis

Marca (Designação)		Campo de uso	Exemplos de peças
GOST	ISO		
Aços de corte fácil (automáticos)			
A12; A20; A30; A40Г	12S20; 20S20; 30S20; 40SMn20	Para peça de responsabilidade pequena e média que se fabricam nas máquinas automáticas	Parafusos, porcas, eixos, veios, anilhas, buchas, pinos
Aços de construção ao carbono para fundição			
15Л; 20Л; ... até 55Л		Peças volumétricas pequenas e médias de forma complexa que difícil obter por tratamento sob pressão e usinagem	Corpos, suportes, cambotas, alavancas, veios, eixos, rolos, engrenagens, buchas
Aços ao carbono para ferramentas			
У7А; У8А;	С70У; С80У	Para ferramentas manuais e mecânicas que trabalham com choques, pequenas velocidades, para tratamento de madeira, plásticos e metais macios	Serras, cinzéis, cunhos, moldes metálicas, escantilhões, régua metálicas, esquadros
У10А; У12А	С100У; С120У	Para ferramentas manuais e mecânicas que trabalham com pequenas velocidades, sem choques, para tratamento de madeira, plásticos e metais macios	Limas, brocas, alargadores, mandris, machos, caçonetes, serras, cunhos, moldes metálicas
Ferros fundidos cinzentos			
СЧ15	GG150	Peças fundidas de pequena responsabilidade que aqueçam cargas pequenas, pequeno desgaste, com espessura de paredes 8 ÷ 15 mm	Volantes, polias, suportes, apoios, armadura hidráulica e pneumática, recipientes, peças pequenas de balanços, máquinas de costura, têxteis, impressoras
СЧ20	GG200	Peças fundidas de responsabilidade média que aqueçam cargas pequenas de tração e médias de compressão, com espessura de paredes 10 ÷ 30 mm, quando o peso não está limitado	Corpos, blocos de cilindros, engrenagens, barramentos, discos de embraiagem, tambores de freios, polias grandes, pistões, aros de pistão
СЧ25	GG250	Peças fundidas complexas de responsabilidade elevada que trabalham com pequenas cargas de tração e elevada de compressão, com espessura de paredes 20 ÷ 60 mm, quando o peso não está limitado	Barramentos de máquinas responsáveis, blocos de cilindros, camisas, corpos de bombas, peças de accionamento hidráulico, pistões e camisas de diesel, cilindros e cabeças de diesel, válvulas, cames, engrenagens
СЧ30	GG300	Peças fundidas de responsabilidade elevada que aqueçam pequenas cargas de tração e altas de compressão, peças que trabalham sob pressão alta, com espessura de paredes 20 ÷ 100 mm, quando o peso não está limitado	Cilindros, tampas de máquinas a vapor, pequenas cambotas, válvulas, cames de distribuição, engrenagens, rodas estreladas, tambores de freio, luvas, discos de embraiagem, aros de pistão, barramentos de tesouras, prensas, máquina de ferramentas múltiplas
СЧ35	GG350	Peças fundidas de alta responsabilidade que aqueçam pequenas cargas de tração e altas de compressão, peças que trabalham sob alta pressão, com espessura de paredes ≥ 20 mm, quando o peso não está limitado	Engrenagens, rodas de coroa, buchas, rodas estreladas grandes, cambotas, tambores de freio, luvas, discos de embraiagem, válvulas aros de pistão
Ferros fundidos maleáveis			
КЧ33-8; КЧ37-12; КЧ50-4; КЧ63-2; КЧ80-1,5	ГТБ35-10; ГТБ38-12; ГТП50-05; ГТП65-02; ГТП80-1	Peças fundidas pequenas e médias de alta responsabilidade que aqueçam cargas dinâmicas de pequenas até médias de tração e até altas de compressão (em função da sua resistência), podem ser endireitadas, com espessura de paredes 6 ÷ 40 mm	Porta-ferramentas, carros, cabeçotes de máquinas-ferramentas, prensas, corpos das estampas, engrenagens, peças de conexão, de máquinas têxteis, agrícolas, de elevação e transporte, utensílios domésticos, âncoras
Ferros fundidos de alta resistência			
ВЧ40; ВЧ50; ВЧ60; ВЧ80 ВЧ100; ВЧ120	ГГГ400-15; ГГГ500-7; ГГГ600-3; ГГГ800-2	Peças fundidas de alta responsabilidade que aqueçam cargas cíclicas de pequenas até altas (em função da sua resistência), desgaste médias e altas, têm diferentes dimensões, secções e massa. Servem para substituir ferro fundido maleável e aço. Têm melhores propriedades de antifricção, anticorrosivos, usinabilidade, é mais leve em 8-10% de que aço	Carros de máquinas-ferramentas, porta-ferramentas, placas de desempenho, árvores principais, alavancas, rolos de laminadores, barramentos de prensas, laminadores, corpo de turbinas a vapor, estampas, pás, travessas, cambotas, pistões, tambores de teleférico

Marca (Designação)		Campo de uso	Exemplos de peças
GOST	ISO		
Aços de construção com liga			
09Г2; 09Г2С; 10Г2С1D	09Mn8; 09MnSi8; 10MnSiCu8	Peças de construção metálica de alta responsabilidade que aquecem com pequenas cargas, sofrem corrosão, trabalham com temperaturas negativas e elevadas, de chapas finas que podem ser deformadas profundamente a frio, soldadas	Água-, gaso- e oleodutos, carroçarias, recipientes, corpos de aparelhos químicos, navios, vagões
15ГФ; 15XCHD	15MnV4; 15CrSiNiCu4	Peças de construção metálica de alta responsabilidade que aquecem cargas reduzidas, sofrem corrosão, trabalham com temperaturas negativas e elevadas, de chapas finas que podem ser deformadas a frio, soldadas, endurecidas superficialmente depois de cementação	Peças de chapa soldada de navios, vagões, camiões, máquinas de elevação e transporte
20X; 20XM; 20XHM; 20XГCA	20Cr4; 20CrMo4; 20CrNiMo4; 20CrMnSi4	Peças de alta responsabilidade que aquecem cargas médias, trabalham com grandes choques, desgaste, que podem ser deformadas a frio, soldadas, endurecidas superficialmente depois de cementação	Buchas, eixos, engrenagens, puxadores, hastes, rolos, chavetas, porcas e parafusos
40X; 40XM; 40XHM	41Cr4; 42CrMo4; 36CrNiMo4	Peças de alta responsabilidade que aquecem cargas elevadas e altas, com choques elevadas, elevada resistência ao desgaste, têm elevada temperabilidade	Peças das dimensões pequenas e médias: veios, eixos, cambotas, alavancas, bielhas, engrenagens, buchas, cilindros, parafusos, prisioneiros, etc.
35XГCA; 30XГCH2A; 38XH3MФ;	35CrMnSi4; 30NiCrMnSi8; 38NiCrMoV12	Peças de alta responsabilidade que aquecem cargas muito altas, trabalham com cargas cíclicas, choques elevadas, têm alta resistência ao desgaste, alta temperabilidade, pequenas deformações térmicas	Peças das dimensões médias e grandes: veios, eixos, cambotas, alavancas, suportes, rolos, engrenagens, buchas, etc.
35ГC; 45C; 45ГC	35MnSi4; 45MnSi4	Peças de alta resistência que não se soldam, para construção civil de alta responsabilidade	Peças de armação do cimento, de construção metálica
Aços de construção com liga para fundição			
35ГЛ; 40XL; 35XГCЛ, etc.		Peças volumétricas pequenas e médias de forma complexa que difícil obter por tratamento sob pressão e usinagem	Corpos, suportes, cambotas, alavancas, veios, eixos, rolos, engrenagens, buchas
Aços para molas			
65; 65Г; 60C2; 50XΦA; 60C2XΦA	65E4; 65Mn4 60Si8; 51CrV4; 60SiCrV8	Para molas de responsabilidade elevada (com Mn e Si) e alta (com Cr e V), de resistência e elasticidade elevada e alta	Diferentes tipos das molas – planas, espirais de compressão, de tracção, de torção, etc.
Aços termo-resistentes e refractárias			
12XM; 12X1MФ; 12X2MФCP; 40XM; 15X5BФ	12CrMo2; 12CrMoV4; 12CrMoVB8 40CrMo4; X15CrWV5	Para peças que trabalham com carga até temperatura de 250 °C e sem carga até 500 ÷ 550 °C ... com carga até 300 °C	Peças de caldeiras, turbinas, fornos, etc. que trabalham com temperaturas até 500 ÷ 550°C Válvulas de motores de combustão interna
15X11MФ; 15X12BHMФ 40X10C2M;	X15CrMoV11; X15CrWNiMo; X40CrSiMo10-2;	Para peças que trabalham com carga até temperatura de 500 ^o a 600 ÷ 620 °C	Peças de turbinas, fornos, etc. que trabalham com temperaturas até 600 ÷ 620°C Válvulas de motores de combustão interna
09X14H16B; 08X18H10T; 12X28H9T; 45X14H14B2M	X09CrNiB14-16; X8CrNiTi18-10 12CrNiTi28-9; X45CrNiWMo14	Para peças que trabalham com carga até temperatura 600 ^o ÷ 700 °C e sem carga até 1000 – 1100 °C	Peças de turbinas, fornos, etc. que trabalham com carga até temperaturas de 600 ÷ 700°C e sem carga até 1000 – 1100 °C Válvulas de motores diesel
XH77TЮ; XH55BMTΦKЮ	Ni77Cr21Fe4Ti2,5Al Ni55CrFeWTiVCoAl	Para peças que trabalham com carga até temperaturas 700 ÷ 900°C e sem carga até 1100 – 1200 °C	Peças de turbinas, fornos que trabalham com carga até temperaturas 700 ÷ 900°C e sem carga até 1100 – 1200 °C
Marca (Designação)		Campo de uso	Exemplos de peças

GOST	ISO		
Aços inoxidáveis			
08X13; 20X13; 08X17T; 22X17H2 30X13; 40X13; 95X18	X08Xr13; 20Cr13; X08CrTi17 X22CrNi17 X40Cr13; X95Cr18	Para peças que trabalham no meio de fraca agressividade – atmosfera húmida, água doce, vapor, salinos, álcalis, ácidos orgânicos com temperaturas até 300°C	Peças de bombas, distribuidores, válvulas, cilindros hidráulicos, loiça, recipientes, tubos, misturadores, hélices, veios, etc. de indústria química e alimentícia Ferramentas cirúrgicas, facas, molas, rolamentos, etc.
10X14Г14Т 08X18H10; 08X18H10T; 12X18H12T; 15X25T; 15X28;	X10CrMnTi14-14 X08CrNi18-10; X08CrNiTi18-10 X12CrNiTi18-12; X15CrTi25; X15Cr28	Para peças que trabalham no meio de agressividade média	Armadura de fogões, termostatos, chaminés, gasodutos, tubos de escape, muflas, retortas, loiça, recipientes, tubos, misturadores, hélices, veios, etc. de indústria química e alimentícia, para gases líquidos, máquinas centrífugas, criogénicas, etc.
08X22H6T; 12X21H5T	X8CrNiTi22-6; X12CrNiTi21-5	Para peças de indústria alimentícia, química que trabalham no meio de agressividade média	Peças de equipamento de indústria alimentícia e química
10X17H13M2T 08X21H6M2T; 06XH28MDT	X10CrNiMoTi17-13; X8CrNiMoTi21-6; X6NiCrMoCuTi28	Para peças que trabalham no meio de agressividade elevada e alta – ácidos: clorídrico, nítrico, fosfórico, etc.	Peças de equipamento de indústria química: recipientes, tubos, armadura, bombas, etc.
Ferros fundidos de antifricção			
AЧC-1		Para chumaceiras que trabalham em combinação com veios temperados	Casquilhos de chumaceiras
AЧC-3		Para chumaceiras que trabalham em combinação com veios não temperados	Casquilhos de chumaceiras
Aços com liga para ferramentas			
12XH3A; X; XBГ;	12NiCr12; 100Cr4; 100CrWMn4	Para ferramentas de medição de precisão normal e elevada	Calibres, escantilhões, régua metálica, esquadros
9XC; XBГ; XB5	90CrSi4; 100CrWMn4; X100WCr5	Para ferramentas manuais e mecânicas que trabalham com choque, pequena velocidade de corte, resistência ao rubro 250°C, para tratamento de madeira, plásticos e metais macios	Brocas, alargadores, mandris, machos, caçonetes, serras, cinzéis, moldes metálicas, matrizes e punções, facas; calibres, escantilhões, esquadros de alta precisão
X; XBГ; X12; X12M; X6BΦ; 7XГ2BM	100CrWMn4 X210Cr12; X160CrMo12; X110CrWV6; 70MnCrWMo8	Para ferramentas de estampagem a frio	Cunhos, matrizes e punções, facas
5XHM; 5XHB; 5XГM; 4XMΦC; 5X2CΦ; 3X2B8; 4X2B5ΦM	50CrNiMo4; 50CrNiW4; 50 CrMnMo4; 40CrSiMoV4; 50CrSiV8; X30WCr8-2; X40WCrVMo5	Para ferramentas de estampagem a quente e forjadura	Matrizes e punções, martelos, facas
3X2M2Φ; 4X2H5M3K5Φ	30CrMoV8; X40NiCoMoCrV5	Para moldes metálicas para fundição de ligas de AL, Cu, Mg a pressão	
Aços rápidos para ferramentas			
P6M5; P18; P9K5; P14Φ4; P6M5K5; P6M5K8F3; P10M4K10F3	HS6-5-2; HS18-0-1; HS9-0-2-5; HS14-0-4; HS6-5-2-5; HS6-5-3-8; HS10-4-3-10	Para ferramentas que trabalham com choque, elevadas velocidades de corte, para peças que trabalham a altas temperaturas. Utilizam-se para maioria das ferramentas cortantes para trabalhar peças de diferentes materiais, têm grande resistência a tracção, flexão e tracção, resistência ao rubro 620 ÷ 640°C	Brocas, alargadores, mandris, machos, caçonetes, fresas, ferros cortantes, serras, brochas, cunhos, matrizes e punções, molas que trabalham com grandes temperaturas. Primeiros aços utilizam-se para trabalhar materiais de dureza média e baixa, últimos para materiais difíceis a trabalhar

Materiais 1 Trabalho laboratorial 1

Tema 1: Ensaio a ruptura dos materiais

Tarefa

1. Apresentar o esboço e estudar a construção e o funcionamento da máquina de ensaio a ruptura.
2. Apresentar o esboço de amostra, esquema de ensaio, medir o diâmetro d_0 e o comprimento l_0 da parte de trabalho da amostra antes de ensaio, fixar amostra na máquina e realizar o ensaio (esticar lentamente a amostra até ruptura), marcar força máxima F_{\max} e receber o diagrama $F - \Delta l$ (força – alongamento).
3. Medir os diâmetros d_1 e d_2 da gola na parte de trabalho da amostra em dois sentidos perpendiculares e o comprimento l da amostra depois de ruptura, apresentar o esboço da amostra depois de ruptura.
4. Determinar os coeficientes da escala da força μ_F e do alongamento $\mu_{\Delta l}$ do diagrama $F - \Delta l$.
5. Indicar no diagrama $F - \Delta l$ os pontos críticos (limite de proporcionalidade, elasticidade, escoamento, de ruptura), medir suas ordenadas (y_{pr} , y_{el} , y_e , y_r) e calcular os valores das forças nos pontos críticos (F_{pr} , F_{el} , F_e , F_r) através do coeficiente da escala μ_F .
6. Calcular os valores dos limites de resistência de proporcionalidade σ_{pr} , de elasticidade σ_{el} , de escoamento σ_e , de ruptura σ_r , de ruptura real S_r , do módulo Yang E , de alongamento relativo δ , de constrição relativa ψ .

Tema 2: Ensaio ao choque dos metais

1. Apresentar o esboço, estudar construção e funcionamento da máquina de ensaio ao choque.
2. Apresentar o esboço da amostra e esquema de ensaio ao choque, medir as dimensões da amostra antes do ensaio, preparar a máquina para ensaio (subir o martelo e regular a régua), colocar amostra na máquina, deixar cair o martelo e medir a altura de subida do martelo depois de partir amostra, indicar a massa do martelo.
3. Apresentar o esboço da amostra depois de ensaio, calcular o trabalho de destruição A e a resiliência do material a_e .

Materiais 1**Trabalho laboratorial 2****Tema 3: Ensaio da dureza dos materiais****Tarefa**

1. Estudar e descrever os métodos de ensaio da dureza dos materiais (Brinell, Rockwell, Vickers, microdureza), campos do seu uso, apresentar os esquemas e condições de ensaio, fórmulas de cálculo da dureza.
2. Apresentar o esquema da máquina de ensaio da dureza, estudar sua construção e seu funcionamento.
3. Preparar a amostra, apresentar seu esboço, coloca-la na máquina de ensaio e medir a dureza.

Tema 4: Estudo da microestrutura dos materiais

1. Estudar e descrever as etapas de preparação da amostra para ensaio da microestrutura, materiais e equipamento a usar, apresentar o esboço da amostra.
2. Preparar a amostra para estudo da microestrutura.
3. Colocar a amostra no microscópio, ajusta-lo e desenhar a imagem da microestrutura, indicar fases presentes.
4. Comparar a imagem observada com fotografias apresentadas na parede do laboratório e determinar o material e o tratamento térmico realizado.

Prof. Doutor

Alexandre Kourbatov

Perguntas de Materiais 1

Perguntas para Teste 1

1. Dar um exemplo e explicar o que é material / elemento químico / elemento alotrópico / composto químico / mistura química / mistura homogénea / heterogénea / solução / liga / material orgânico / inorgânico metálico / não metálico sólido(a) / líquido(a) / gasoso(a) / transformação física / química / estrutural.
2. Qual é a diferença entre compostos e misturas / soluções ?
3. Como se classificam elementos químicos / compostos / misturas / soluções / materiais orgânicos / inorgânicos metálicos / não metálicos / escuros / coloridos / aços / ferros fundidos?
4. Que proporção, distribuição têm componentes de composto químico / mistura química homogénea / heterogénea / solução sólida / liga / material orgânico / material inorgânico metálico / não metálico?
5. Dar os exemplos das propriedades físicas / químicas / mecânicas / tecnológicas / económicas dos materiais.
6. Quais são os valores limites da propriedade física / química / mecânica / tecnológica / económica indicada têm os materiais e que materiais têm valores mínimos e máximos?
7. Que propriedades físicas / químicas / mecânicas / tecnológicas / económicas tem que ter material de que se pretende fabricar uma peça (regra geral)?
8. De que dependem / como se podem variar as propriedades físicas / químicas / mecânicas de elemento químico / composto químico / mistura química heterogénea / solução sólida / liga / material orgânico / inorgânico metálico / não metálico?
9. Em que estado físico pode ser um material / elemento químico / composto químico / mistura química / mistura homogénea / heterogénea / solução / liga / material orgânico / inorgânico metálico / não metálico e de que isso depende ?
10. Que comportamento, organização, tipo de ligação têm átomos, moléculas de elemento químico / composto químico / mistura mecânica / mistura homogénea / heterogénea / solução / liga / material orgânico / inorgânico metálico / não metálico num estado sólido / líquido / gasoso ?
11. Quais são métodos de separação física / química / mecânica de composto químico / mistura química / solução / liga / material orgânico / inorgânico metálico / não metálico sólido(a) / líquido(a) / gasoso(a) em componentes?
12. Quais elementos químicos são metálicos / não metálicos / semicondutores / metais alcalinos / metais alcalino-terrosos / metais escuros / metais refractários / metais de terras raras/ metais urânicos / metais coloridos / metais leves / metais muito fusíveis / metais nobres / transitórios / de transição interna / alotrópicos / polimorfos?
13. Indicar o número dos electrões, prótons, neutrões, distribuição dos electrões pelas camadas e subcamadas do elemento químico ____.
14. Nomear os ensaios de propriedades mecânicas de carga estática / dinâmica / duradouros / seriais.
15. O que é e como se determina (tipo de ensaio e fórmula principal) o limite de ruptura / de ruptura real / de escoamento normal / de escoamento condicional / de elasticidade / de

- proporcionalidade / o alongamento relativo / contração relativa / módulo Yang / coeficiente Poisson / plasticidade / ductilidade / dureza Brinell / Rockwell / Vickers / microdureza / resiliência / resistência a fadiga / ao desgaste / fluência dum material?
16. Apresentar o esquema de ensaio de ruptura / da dureza Brinell / Rockwell / Vickers / ao choque / a fadiga / da fluência / do desgaste e indicar as condições de carregamento dum amostra.
 17. Apresentar a curva do ensaio de ruptura para material plástico / frágil / da resistência à fadiga / ao desgaste / ao rubro / da fragilidade a frio / da fluência com indicação de pontos, zonas críticas.
 18. Apresentar o esquema e as fórmulas da determinação do limite de ruptura real / de escoamento normal / de escoamento condicional / de elasticidade / de proporcionalidade através da curva de ensaio de ruptura, explicar como se determinam os dados necessários.
 19. Para um aço no estado indicado determinar HB se $HRC = \text{---}$ / R_m se $HB = \text{---}$ / $R_{p0.2}$ se $R_m = \text{---}$ / R_{-1} se $R_m = \text{---}$.
 20. Que dureza / limite de ruptura / alongamento relativo dos materiais ferrosos concedera-se baixo(a) / reduzido(a) / médio(a) / elevado(a) / alto(a) / muito alto(a) ?
 21. Quais são as propriedades do material que determinam a tecnologicabilidade de fundição / tratamento sob pressão / soldadura / usinagem / têmpera ?
 22. Explicar como se determina fluidez / coeficiente de contração / nível de extração de gases / carácter de distribuição das cavidades e bolhas / possibilidade e nível admissível de deformação a frio / a quente / de estiramento / abaixamento / embutidura / dobragem / possibilidade de ligação das peças por soldadura / usinabilidade / temperabilidade.
 23. Que propriedades tem que ter material para garantir bom tratamento por fundição / sob pressão / boa soldabilidade / usinabilidade / temperabilidade ?
 24. Desenhar a(s) rede(s) cristalina(s) do elemento químico _____ com indicação dos seus parâmetros.
 25. Apresentar um esquema e explicar o que é a anisotropia das propriedades e por que ela aparece.
 26. Quais são tipos dos microdefeitos / microdefeitos pontuais / lineares / superficiais / macrodefeitos ?
 27. Apresentar o esquema e explicar o que é vacância / inserção / substituição / deslocação marginal / deslocação helicoidal / defeito superficial / grão / fragmento dum grão / bloco dum grão / monocristal / policristal.
 28. Como influem micro- e macrodefeitos nas propriedades mecânicas dos materiais?
 29. Dar um exemplo e explicar o que é a estrutura atômica / cristalina / microestrutura / macroestrutura / espectrografia / fractografia.
 30. Que meios, reactivos e equipamento utilizam-se para ensaio de estrutura atômica / cristalina / microestrutura / macroestrutura / espectrografia / fractografia ?
 31. Apresentar as etapas de cristalização / a estrutura do lingote.
 32. De que dependem as dimensões de grãos durante solidificação / raio crítico dos embriões?
 33. Quais são condições necessárias para cristalização / crescimento dos embriões / transformação de Fe_α para Fe_β / de Fe_β para Fe_γ / de Fe_γ para Fe_δ e vice versa / para

criação dos grãos pequenos / grandes / criação da estrutura amorfa (usar curvas de variação das velocidades de geração dos embriões e seu crescimento) ?

34. Que transformação ocorre e que fase tem ferro com temperatura ____ ?

Perguntas para Teste 2

35. Apresentar o esquema e explicar o que é a deformação / deformação proporcional / elástica / plástica / destruição dum material / destruição dúctil / frágil.

36. Apresentas os esquemas de etapas de destruição dum material.

37. Apresentar e descrever o aspecto duma superfície de separação de destruição dúctil / frágil dum material.

38. De que depende o carácter (o tipo) de destruição dum material ?

39. Como depende o tipo de destruição dum material de temperatura / condições e velocidade de carregamento / meio ambiente / forma e dimensões da peça / concentradores de tensões / estrutura e dimensões dos grãos / composição química do material / tipo da rede cristalina?

40. Que destruição do material (frágil ou dúctil) é mais perigosa e por que?

41. Para destruição de que tipo (frágil ou dúctil) gasta-se maior trabalho e por que?

42. Que material há de usar se aconteceu a destruição plástica / frágil?

43. O que é o encruamento e quando ele aparece ?

44. Como varia microestrutura / dureza / limite de ruptura / alongamento relativo / resistência a corrosão / condutibilidade eléctrica / térmica dum material encruado ?

45. O que acontece com microestrutura / propriedades do material encruado durante aquecimento / recristalização primária / secundária?

46. De que e como dependem as dimensões dos grãos do material encruado recristalizado ?

47. Dar exemplos e explicar o que é: o componente duma liga / mistura mecânica / composto electrónico / composto estável / composto instável / composto de valência normal / composto electrónico / fase Laves / solução sólida limitada / ilimitada / por inserção / por substituição / regularizada / fase / sistema de ligas / processo eutético / peritético / eutectóide / peritectóide.

48. Quais são as condições de criação das soluções sólidas limitadas / ilimitadas / por inserção / por substituição / regularizadas ?

49. Apresentar o diagrama de estado equilibrado duma liga do tipo de mistura mecânica / solução sólida ilimitada / limitada quando a solubilidade aumenta / diminui / não varia com aumento da temperatura / com peritética / mistura mecânica com composto estável / instável / solução limitada com composto estável / mistura mecânica com transformações alotrópicas / solução sólida ilimitada com temperaturas altas e limitada com temperaturas baixas / solução sólida ilimitada com temperaturas altas mas com temperaturas baixas mistura mecânica / solução sólida limitada / com peritectóide .

50. Indicar a transformação própria e o nome do processo que ocorre numa liga que contém ____% do elemento B com temperatura _____ segundo ao diagrama do estado equilibrado apresentado (de qualquer tipo).

51. Determinar a composição / quantidade das fases numa liga que contém ____% do elemento B com temperatura _____ segundo ao diagrama do estado equilibrado apresentado (de qualquer tipo).
52. Apresentar o diagrama de dependência das propriedades numa liga da sua composição que tem diagrama do estado equilibrado do tipo de mistura mecânica / solução sólida ilimitada / limitada / mistura mecânica com composto estável.
53. Apresentar um exemplo da isometria / vista de cima dum diagrama de estado equilibrado ternário de mistura mecânica / solução sólida ilimitada / limitada .

Perguntas para Teste 3

54. O que é ferrita / perlita / austenita / ledeburita / cementita / aço hipoeutectóide/ eutectóide / hipereutectóide / ferro fundido hipoeutético / eutético / hipereutético ?
55. Que impurezas têm aços ordinários / de qualidade / de alta qualidade / para ferramentas / ferros fundidos cinzentos / maleáveis / esferoidais e em que quantidade ?
56. O que é o processo peritético / eutético / eutectóide numa liga Fe-C ?
57. Que composição química tem aço / ferro fundido _____ ?
58. Que graus de liberdade tem aço / ferro fundido _____ com temperatura $t^o = \text{_____}$?
59. Apresentar a curva de arrefecimento do aço / ferro fundido _____ com indicação das temperaturas em pontos críticos.
60. Que transformação ocorre durante o arrefecimento lento e que composição / quantidade tem fases do aço / ferro fundido _____ com temperatura _____?
61. Apresentar a microestrutura do aço ao carbono / ferro fundido com ____ % de carbono arrefecido lentamente até temperatura _____.
62. Determinar a temperatura do início e fim de solidificação / primeira / segunda transformação alotrópica / processo peritético / eutético / eutectóide do aço / ferro fundido _____.
63. Indicar o teor de carbono do ponto S / E do diagrama do estado equilibrado do aço / ferro fundido _____.
64. Que materiais ferrosos têm boas propriedades de fundição / tratamento sob pressão / soldabilidade / usinabilidade / temperabilidade e por que?
65. Para que serve alto-forno / cubilote / conversor / forno Martin-Siemens / forno eléctrico / forno eléctrico de vácuo e o que se carrega nele ?
66. Que reacções químicas principais realizam-se no alto-forno / cubilote / conversor a oxigénio / forno Martin-Siemens ?
67. Que minérios / fundentes / desoxidantes utilizam-se para produção do ferro fundido / aço?
68. Quais são etapas de preparação dos componentes da carga para alto-forno ?
69. Apresentar o esquema do alto-forno / cubilote / conversor / forno Martin-Siemens / forno eléctrico de arco voltaico / de indução / forno eléctrico de vácuo, indicar seus elementos principais.
70. Descrever o funcionamento do alto-forno / cubilote / conversor / forno Martin-Siemens / forno eléctrico de arco voltaico / de indução / forno eléctrico de vácuo.

71. Indicar o nível das propriedades mecânicas (HB / HRC, σ_r , σ_{02} , σ_{-1} , δ , KU) que pode ter aço / ferro fundido _____ depois de laminagem a quente / cementação / têmpera e revenimento alto / médio / baixo.
72. Que propriedades de fundição / tratamento sob pressão / soldadura / usinagem / tratamento térmico tem aço / ferro fundido _____ e por que ?
73. Que tipos dos materiais ferrosos / aços / ferros fundidos têm maus / satisfatórias / boas propriedades de fundição / tratamento sob pressão / soldadura / usinagem / tratamento térmico e por que ?
74. Indicar a designação GOST e ISO do material de que pode ser feito(a):
- corpo de paredes finos (recipiente de água / produtos de petróleo / gás comprimido / gás líquido / de industria alimentícia / química / corpo de mobília / fogão / frigorífico / forno / navio / carroçaria dum automóvel / camião / vagão / aparelho eléctrico / electrónico / loiça / caldeira a vapor / conduto de ar / cobertura de telhado);
 - estrutura metálica (carcaça) (de mecanismo / máquina / guindaste / telhado dum edificio pequeno / grande / armação do betão dum edificio de poucos / muitos andares);
 - tubos / condutos (de ar comprimido / água / gás natural / produtos de petróleo / evaporador / condensador / caldeiro / turbina a gás / a vapor/ ar quente dum alto-forno);
 - corpo de paredes grossas (bomba de água / redutor / caixa de velocidades / de avanço / cabeçote duma máquina-ferramenta / motor de combustão interna / eléctrico) / peça maciça (base / barramento duma máquina / carro / mesa duma máquina-ferramenta de potência pequena / média / grande);
 - peça de revolução (veio duma máquina-ferramenta / turbina / bucha / engrenagem / roda estrelada / polia / tambor / rolamento / porca / parafuso / pino / anilha / rebite / prego) / peça maciça (chaveta / mola / alavanca / biela / manivela / acoplamento / suporte);
 - medidor (régua /esquadro / escantilhão / calibre macho / fêmea / paquímetro / suta / micrómetro) / lima / serra / escopro / martelo / faca / broca / alargador / mandril / macho / caçonete / fresa / matriz e punção para estampagem a frio / a quente / molde metálica;
- de responsabilidade baixa / média / alta de espessura / diâmetro de _____ mm / quando a massa tem / não tem grande influência no seu funcionamento e que trabalha em seguintes condições:
- com tensões a tracção / compressão / flexão /torção / cisalhamento pequenas / médias / grandes / de valor _____;
 - sem / com choques pequenas / médias / grandes;
 - sem / com atrito pequeno / médio / grande;
 - no meio ambiente indicado / de agressividade pequena / média / grande;
 - com temperaturas normais / altas / negativas / de _____ °C.
75. Transformar a designação GOST / ISO do aço ao carbono / com liga pobre / rica / para fundição / de corte fácil / ao carbono para ferramentas / aço rápido / ferro fundido cinzento / maleável / esferoidal _____ para designação ISO / GOST e indicar os exemplos / as condições do seu uso (responsabilidade da peça, espessura das suas paredes, tipo e valor das tensões admissíveis, nível dos choques, do desgaste, meio ambiente, faixa das temperaturas).