Tabela A.1 Propriedades termofísicas de alguns sólidos metálicos[a]

COMPOSIÇÃO	PONTO DE FUSÃO (K)	PROPRIEDADES A 300 K				PROPRIEDADES A VÁRIAS TEMPERATURAS (K)									
						k (W/m · K) c_p (J/kg · K)									
		ρ (kg/m³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Alumínio															
Puro	933	2702	903	237	97,1	302 482	237 798	240 949	231 1033	218 1146					
Liga 2024-T6 (4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,6% Mn)	775	2770	875	177	73,0	65 473	163 787	186 925	186 1042						
Liga 195, Fundida (4,5% Cu)		2790	883	168	68,2			174 —	185 —						
Berílio	1550	1850	1825	200	59,2	990 203	301 1114	161 2191	126 2604	106 2823	90,8 3018	78,7 3227	3519		
Bismuto	545	9780	122	7,86	6,59	16,5 112	9,69 120	7,04 127							
Boro	2573	2500	1107	27,0	9,76	190 128	55,5 600	16,8 1463	10,6 1892	9,60 2160	9,85 2338				
Cádmio	594	8650	231	96,8	48,4	203 198	99,3 222	94,7 242							
Chumbo	601	11340	129	35,3	24,1	39,7 118	36,7 125	34,0 132	31,4 142						
Cobalto	1769	8862	421	99,2	26,6	167 236	122 379	85,4 450	67,4 503	58,2 550	52,1 628	49,3 733	42,5 674		
Cobre															
Puro	1358	8933	385	401	117	482 252	413 356	393 397	379 417	366 433	352 451	339 480			
Bronze comercial (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14		42 785	52 460	59 545						
Bronze fosforoso de engrenagens (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17		41 —	65 —	74 —						
Latão para cartuchos (latão 71) (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33,9	75	95 360	137 395	149 425						
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6,71	17 237	19 362								
Cromo	2118	7160	449	93,7	29,1	159 192	111 384	90,9 484	80,7 542	71,3 581	65,4 616	61,9 682	57,2 779	49,4 937	
Estanho	505	7310	227	66,6	40,1	85,2 118	73,3 215	62,2 243							
Ferro															
Puro	1810	7870	447	80,2	23,1	134 216	94,0 384	69,5 490	54,7 574	43,3 680	32,8 975	28,3 609	32,1 654		
Armco (99,75% puro)		7870	447	72,7	20,7	95,6 215	80,6 384	65,7 490	53,1 574	42,2 680	32,3 975	28,7 609	31,4 654		
Aço carbono															

Arsênico (99,75% puro)		7870	447	72,7	20,7	95,6 215	80,6 384	65,7 490	53,1 574	42,2 680	32,3 975	28,7 609	31,4 654		
Não ligado (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0,1%)		7854	434	60,5	17,7			56,7 487	48,0 559	39,2 685	30,0 1169				
AISI 1010		7832	434	63,9	18,8			58,7 487	48,8 559	39,2 685	31,3 1168				
Carbono-silício (Mn ≤ 1%, 0,1% < Si ≤ 0,6%)		7817	446	51,9	14,9			49,8 501	44,0 582	37,4 699	29,3 971				
Carbono-manganês-silício (1% < Mn ≤ 1,65%, 0,1% < Si ≤ 0,6%)		8131	434	41,0	11,6			42,2 487	39,7 559	35,0 685	27,6 1090				
Aços de baixo cromo 0,5 Cr-0,25 Mo-Si (0,18% C, 0,65% Cr, 0,23% Mo, 0,6% Si)		7882	444	37,7	10,9			38,2 492	36,7 575	33,3 688	26,9 969				
1 Cr-0,5 Mo (0,16% C, 1% Cr, 0,54% Mo, 0,39% Si)		7858	442	42,3	12,2			42,0 492	39,1 575	34,5 688	27,4 969				
1 Cr-V (0,2% C, 1,02% Cr, 0,15% V)		7836	443	48,9	14,1			46,8 492	42,1 575	36,3 688	28,2 969				
Aços inoxidáveis AISI 302		8055	480	15,1	3,91			17,3 512	20,0 559	22,8 585	25,4 606				
AISI 304	1670	7900	477	14,9	3,95	9,2 272	12,6 402	16,6 515	19,8 557	22,6 582	25,4 611	28,0 640	31,7 682		
AISI 316		8238	468	13,4	3,48			15,2 504	18,3 550	21,3 576	24,2 602				
AISI 347		7978	480	14,2	3,71			15,8 513	18,9 559	21,9 585	24,7 606				
Germânio	1211	5360	322	59,9	34,7	232 190	96,8 290	43,2 337	27,3 348	19,8 357	17,4 375	17,4 395			
Irídio	2720	22500	130	147	50,3	172 90	153 122	144 133	138 138	132 144	126 153	120 161	111 172		
Magnésio	923	1740	1024	156	87,6	169 649	159 934	153 1074	149 1170	146 1267					
Molibdênio	2894	10240	251	138	53,7	179 141	143 224	134 261	126 275	118 285	112 295	105 308	98 330	90 380	86 459
Nióbio	2741	8570	265	53,7	23,6	55,2 188	52,6 249	55,2 274	58,2 283	61,3 292	64,4 301	67,5 310	72,1 324	79,1 347	
Níquel Puro	1728	8900	444	90,7	23,0	164 232	107 383	80,2 485	65,6 592	67,6 530	71,8 562	76,2 594	82,6 616		
Nichrome (80% Ni, 20% Cr)	1672	8400	420	12	3,4			14 480	16 525	21 545					
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6,7% Fe)	1665	8510	439	11,7	3,1	8,7 —	10,3 372	13,5 473	17,0 510	20,5 546	24,0 626	27,6 —	33,0 —		
Ouro	1336	19300	129	317	127	327 109	323 124	311 131	298 135	284 140	270 145	255 155			

Tabela A.1 Propriedades termofísicas de alguns sólidos metálicos[a] (cont.)

COMPOSIÇÃO	PONTO DE FUSÃO (K)	PROPRIEDADES A 300 K				PROPRIEDADES A VÁRIAS TEMPERATURAS (K)									
						k (W/m · K) c_p (J/kg · K)									
		ρ (kg/m³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Paládio	1827	12020	244	71,8	24,5	76,5 168	71,6 227	73,6 251	79,7 261	86,9 271	94,2 281	102 291	110 307		
Platina Pura	2045	21450	133	71,6	25,1	77,5 100	72,6 125	71,8 136	73,2 141	75,6 146	78,7 152	82,6 157	89,5 165	99,4 179	
Liga 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	1800	16630	162	47	17,4			52 —	59 —	65 —	69 —	73 —	76 —		
Prata	1235	10500	235	429	174	444 187	430 225	425 239	412 250	396 262	379 277	361 292			
Rênio	3453	21100	136	47,9	16,7	58,9 97	51,0 127	46,1 139	44,2 145	44,1 151	44,6 156	45,7 162	47,8 171	51,9 186	
Ródio	2236	12450	243	150	49,6	186 147	154 220	146 253	136 274	127 293	121 311	116 327	110 349	112 376	
Silício	1685	2330	712	148	89,2	884 259	264 556	98,9 790	61,9 867	42,2 913	31,2 946	25,7 967	22,7 992		
Tântalo	3269	16600	140	57,5	24,7	59,2 110	57,5 133	57,8 144	58,6 146	59,4 149	60,2 152	61,0 155	62,2 160	64,1 172	65,6 189
Titânio	1953	4500	522	21,9	9,32	30,5 300	24,5 465	20,4 551	19,4 591	19,7 633	20,7 675	22,0 620	24,5 686		
Tório	2023	11700	118	54,0	39,1	59,8 99	54,6 112	54,5 124	55,8 134	56,9 145	56,9 156	58,7 167			
Tungstênio	3660	19300	132	174	68,3	208 87	186 122	159 137	137 142	125 145	118 148	113 152	107 157	100 167	95 176
Urânio	1406	19070	116	27,6	12,5	21,7 94	25,1 108	29,6 125	34,0 146	38,8 176	43,9 180	49,0 161			
Vanádio	2192	6100	489	30,7	10,3	35,8 258	31,3 430	31,3 515	33,3 540	35,7 563	38,2 597	40,8 645	44,6 714	50,9 867	
Zinco	693	7140	389	116	41,8	117 297	118 367	111 402	103 436						
Zircônio	2125	6570	278	22,7	12,4	33,2 205	25,2 264	21,6 300	20,7 322	21,6 342	23,7 362	26,0 344	28,8 344	33,0 344	

[a] Adaptada das referências bibliográficas 1-7.

Tabela A.2 Propriedades termofísicas de alguns sólidos não-metálicos[a]

COMPOSIÇÃO	PONTO DE FUSÃO (K)	PROPRIEDADES A 300 K				PROPRIEDADES A VÁRIAS TEMPERATURAS (K)									
						k (W/m · K) c_p (J/kg · K)									
		ρ (kg/m³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Boro	2573	2500	1105	27,6	9,99	190 —	55,2 —	18,7 1490	11,3 1880	8,1 2135	6,3 2350	5,2 2555			
Carbeto de silício	3100	3160	675	490	230			— 880	— 1050	— 1135	87 1195	58 1243	30 1310		
Carbono															
Amorfo	1500	1950	—	1,60	—	0,67 —	1,18 —	1,89 —	2,19 —	2,37 —	2,53 —	2,84 —	3,48 —		
Diamante, isolante tipo IIa	—	3500	509	2300	10000 21	4000 194	1540 853								
Dióxido de silício, cristalino (quartzo)	1883	2650													
k, ∥ ao eixo c				10,4		39	16,4	7,6	5,0	4,2					
k, ⊥ ao eixo c				6,21		20,8	9,5	4,70	3,4	3,1					
c_p			745			—	—	885	1075	1250					
Dióxido de silício, policristalino (sílica fundida)	1883	2220	745	1,38	0,834	0,69 —	1,14 —	1,51 905	1,75 1040	2,17 1105	2,87 1155	4,00 1195			
Dióxido de titânio, policristalino	2133	4157	710	8,4	2,8			7,01 805	5,02 880	3,94 910	3,46 930	3,28 945			
Dióxido de tório	3573	9110	235	13	6,1			10,2 255	6,6 274	4,7 285	3,68 295	3,12 303	2,73 315	2,5 330	
Enxofre	392	2070	708	0,206	0,141	0,165 403	0,185 606								

Tabela A.2 Propriedades termofísicas de alguns sólidos não-metálicos[a] (cont.)

COMPOSIÇÃO	PONTO DE FUSÃO (K)	PROPRIEDADES A 300 K				PROPRIEDADES A VÁRIAS TEMPERATURAS (K)									
						k (W/m · K) c_p (J/kg · K)									
		ρ (kg/m³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Epóxi com fibras de boro (30% volumares)	590	2080													
k, ∥ às fibras				2,29		2,10	2,23	2,28							
k, ⊥ às fibras				0,59		0,37	0,49	0,60							
c_p			1122			364	757	1431							
Epóxi com fibras de grafita (25% volumares)	450	1400													
k, corrente térmica ∥ às fibras				11,1		5,7	8,7	13,0							
k, corrente térmica ⊥ às fibras				0,87		0,46	0,68	1,1							
c_p			935			337	642	1216							
Grafita, pirolítica	2273	2210													
k, ∥ às camadas				1950		4970	3230	1390	892	667	534	448	357	262	
k, ⊥ às camadas				5,70		16,8	9,23	4,09	2,68	2,01	1,60	1,34	1,08	0,81	
c_p			709			136	411	992	1406	1650	1793	1890	1974	2043	
Nitreto de silício	2173	2400	691	16,0	9,65	—	—	13,9	11,3	9,88	8,76	8,00	7,16	6,20	
						—	578	778	937	1063	1155	1226	1306	1377	
Óxido de alumínio, policristalino	2323	3970	765	36,0	11,9	133	55	26,4	15,8	10,4	7,85	6,55	5,66	6,00	
						—	—	940	1110	1180	1225	—	—	—	
Óxido de alumínio, safira	2323	3970	765	46	15,1	450	82	32,4	18,9	13,0	10,5				
						—	—	940	1110	1180	1225				
Óxido de berílio	2725	3000	1030	272	88,0			196	111	70	47	33	21,5	15	
								1350	1690	1865	1975	2055	2145	2750	
Piroceram, *Corning* 9606	1623	2600	808	3,98	1,89	5,25	4,78	3,64	3,28	3,08	2,96	2,87	2,79		
						—	—	908	1038	1122	1197	1264	1498		

[a]Adaptada das referências bibliográficas 1, 2, 3 e 6.

Tabela A.3 Propriedades termofísicas de materiais comuns[a]

Materiais de construção

DESCRIÇÃO/COMPOSIÇÃO	PROPRIEDADES TÍPICAS A 300 K		
	DENSIDADE, ρ (kg/m³)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA, k (W/m · K)	CALOR ESPECÍFICO c_p (J/kg · K)
Alvenaria			
Argamassa de cimento	1.860	0,72	780
Tijolo comum	1.920	0,72	835
Tijolo de fachada	2.083	1,3	—
Tijolo cerâmico, oco			
1 célula, 10 cm de espessura	—	0,52	—
3 células, 30 cm de espessura	—	0,69	—
Bloco de concreto, 3 furos redondos			
areia/brita, 20 cm de espessura	—	1,0	—
agregado de cinzas, 20 cm de espessura	—	0,67	—
Bloco de concreto, furos retangulares			
2 furos, 20 cm de espessura, 16 kg	—	1,1	—
O mesmo, com os furos cheios	—	0,60	—
Materiais de emboço			
Emboço de cimento e areia	1.860	0,72	—
Emboço de gesso e areia	1.680	0,22	1.085
Emboço de gesso e vermiculita	720	0,25	—
Painéis de revestimento, ou estruturais			
Chapa de cimento-amianto	1.920	0,58	—
Painel de gesso ou de estuque	800	0,17	—
Compensado de madeira	545	0,12	1.215
Revestimento isolante, densidade regular	290	0,055	1.300
Painel isolante, acústico	290	0,058	1.340
Papelão, densidade regular	640	0,094	1.170
Papelão, densidade alta	1.010	0,15	1.380
Aglomerado de madeira, densidade baixa	590	0,078	1.300
Aglomerado de madeira, densidade alta	1.000	0,170	1.300
Madeira			
Madeira de lei	720	0,16	1.255
Madeira mole (pinho)	510	0,12	1.380

Materiais e sistemas isolantes

Mantas			
Fibra de vidro com revestimento de papel	16	0,046	—
	28	0,038	—
	40	0,035	—
Fibra de vidro, revestida; para dutos	32	0,038	835
Tábuas e placas			
Vidro celular	145	0,058	1.000
Fibra de vidro, com cimento orgânico	105	0,036	795
Poliestireno, expandido			
extrudado (R-12)	55	0,027	1.210
pérolas moldadas	16	0,040	1.210
Chapa para telhados	265	0,049	—
Chapa de cavacos de madeira aglutinados	350	0,087	1.590
Chapa de cortiça	120	0,039	1.800
Enchimentos			
Cortiça granulada	160	0,045	—
Sílica de diatomáceas,	350	0,069	—
granulação grossa	400	0,091	—
Sílica de diatomáceas,	200	0,052	—
granulação fina	275	0,061	—
Fibra de vidro, soprada ou derramada	16	0,043	835
Vermiculita em escamas	80	0,068	835
	160	0,063	1.000
Material formado, ou espumado, *in loco*			
Grânulos de lã mineral com cimento de amianto/inorgânico, aspergido	190	0,046	—
Mastique de cortiça e acetato de polivinila; aspergido ou aplicado a colher	—	0,100	—
Uretana; mistura de duas partes; espuma rígida	70	0,026	1,045
Revestimentos refletores			
Folha de alumínio separando mantas de vidro, fofas; 10-12 camadas; evacuado; para aplicações criogênicas (150 K)	40	0,00016	—
Folha de alumínio e papel de vidro laminado; 75-150 camadas; evacuado; para aplicações criogênicas (150 K)	120	0,000017	—
Pó de sílica típico, evacuado	160	0,0017	—

[a]Adaptada das referências bibliográficas 1, 8-13.

Tabela A.3 Propriedades termofísicas de materiais comuns[a](cont.)

Isolamento industrial

DESCRIÇÃO/COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERAÇÃO (K)	DENSIDADE TÍPICA (kg/m³)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA TÍPICA k (W/m · K), A VÁRIAS TEMPERATURAS (K)													
			200	215	230	240	255	270	285	300	310	365	420	530	645	750
Blocos, chapas e isolamentos de tubos																
Folha de amianto, laminada e ondulada																
4 folhas	420	190								0,078	0,082	0,098				
6 folhas	420	255								0,071	0,074	0,085				
8 folhas	420	300								0,068	0,071	0,082				
Magnésia a 85%	590	185									0,051	0,055	0,061			
Silicato de cálcio	920	190									0,055	0,059	0,063	0,075	0,089	0,104
Vidro celular	700	145			0,046	0,048	0,051	0,052	0,055	0,058	0,062	0,069	0,079			
Sílica de diatomáceas	1.145	345												0,092	0,098	0,104
	1.310	385												0,101	0,100	0,115
Poliestireno rígido																
Extrudado (R-12)	350	56	0,023	0,023	0,022	0,023	0,023	0,025	0,026	0,027	0,029					
Extrudado (R-12)	350	35	0,023	0,023	0,023	0,025	0,025	0,026	0,027	0,029						
Pérolas moldadas	350	16	0,026	0,029	0,030	0,033	0,035	0,036	0,038	0,040						
Espuma de borracha rígida	340	70						0,029	0,030	0,032	0,033					
Cimento isolante																
Com fibra mineral (de rocha, de escória ou de vidro) e aglutinação de argila	1.255	430									0,071	0,079	0,088	0,105	0,123	
Com cimento hidráulico de pega	922	560									0,108	0,115	0,123	0,137		
Enchimentos																
Celulose, pasta de madeira ou de papel	—	45							0,038	0,039	0,042					
Perlita expandida	—	105	0,036	0,039	0,042	0,043	0,046	0,049	0,051	0,053	0,056					
Vermiculita expandida	—	122			0,056	0,058	0,061	0,063	0,065	0,068	0,071					
		80			0,049	0,051	0,055	0,058	0,061	0,063	0,066					
Mantas																
Manta de fibra mineral	920	96-192									0,038	0,046	0,056	0,078		
com, reforço metálico	815	40-96									0,035	0,045	0,058	0,088		
Manta de fibra mineral e vidro, fibra fina com cimento orgânico	450	10				0,036	0,038	0,040	0,043	0,048	0,052	0,076				
		12				0,035	0,036	0,039	0,042	0,046	0,049	0,069				
		16				0,033	0,035	0,036	0,039	0,042	0,046	0,062				
		24				0,030	0,032	0,033	0,036	0,039	0,040	0,053				
		32				0,029	0,030	0,032	0,033	0,036	0,038	0,048				
		48				0,027	0,029	0,030	0,032	0,033	0,035	0,045				
Manta com fibra de alumina e sílica	1.530	48												0,071	0,105	0,150
		64												0,059	0,087	0,125
		96												0,052	0,076	0,100
		128												0,049	0,068	0,091
Feltro semi-rígido com	480	50-125						0,035	0,036	0,038	0,039	0,051	0,063			
cimento orgânico	730	50	0,023	0,025	0,026	0,027	0,029	0,030	0,032	0,033	0,035	0,051	0,079			
Feltro laminado sem cimento	920	120										0,051	0,065	0,087		

Tabela A.3 Propriedades termofísicas de materiais comuns[a](cont.)

Outros materiais

DESCRIÇÃO/COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (K)	DENSIDADE, ρ (kg/m³)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA, k (W/m · K)	CALOR ESPECÍFICO c_p (J/kg · K)
Algodão	300	80	0,06	1.300
Alimentos				
Banana (com teor de água de 75,7%)	300	980	0,481	3.350
Maçã vermelha (com teor de água de 75%)	300	840	0,513	3.600
Massa de bolo	300	720	0,223	—
Bolo cozido	300	280	0,121	—
Carne branca de frango	198	—	1,60	—
(com teor de água de 74,4%)	233	—	1,49	
	253		1,35	
	263		1,20	
	273		0,476	
	283		0,480	
	293		0,489	
Antracito	300	1.350	0,26	1.260
Areia	300	1.515	0,27	800
Argila	300	1.460	1,3	880
Asfalto	300	2.115	0,062	920
Baquelite	300	1.300	1,4	1.465
Borracha galvanizada				
Mole	300	1.100	0,13	2.010
Dura	300	1.190	0,16	—
Concreto (com brita)	300	2.300	1,4	880
Couro (solado)	300	998	0,159	—
Gelo	273	920	1,88	2.040
	253	—	2,03	1.945
Madeira, contra o grão				
Abeto	300	415	0,011	2.720
Balsa	300	140	0,055	—
Carvalho	300	545	0,17	2.385
Cipreste	300	465	0,097	—
Pinho amarelo	300	640	0,15	2.805
Pinho branco	300	435	0,11	—
Madeira, radial				
Carvalho	300	545	0,19	2.385
Abeto	300	420	0,14	2.720
Neve	273	110	0,049	—
		500	0,190	—
Papel	300	930	0,180	1.340
Parafina	300	900	0,240	2.890
Rocha				
Arenito (Berea)	300	2.150	2,90	745
Calcário (Salem)	300	2.320	2,15	810
Granito (Barre)	300	2.630	2,79	775
Mármore (Halston)	300	2.680	2,80	830
Quartzito (Sioux)	300	2.640	5,38	1.105
Solo	300	2.050	0,52	1.840
Tecido humano				
Pele	300	—	0,37	—
Camada adiposa	300	—	0,2	—
Músculo	300	—	0,41	—
Teflon	300	2.200	0,35	—
	400	—	0,45	—
Tijolo refratário				
Carborundo	872	—	18,5	—
	1.672	—	11,0	—
Tijolo de cromita	473	3.010	2,3	835
	823		2,5	
	1.173	—	2,0	
Tijolo de magnesita	478	—	3,8	1.130
	922	—	2,8	
	1.478		1,9	
Tijolo refratário comum	478	2.645	1,0	960
	922		1,5	
	1.478		1,8	
Tijolo refratário queimado a 1.600 K	773	2.050	1,0	960
	1.073	—	1,1	
	1.373	—	1,1	
Tijolo refratário queimado a 1.725 K	773	2.325	1,3	960
	1.073		1,4	
	1.373		1,4	
Tijolo de sílica de diatomáceas, queimado	478	—	0,25	—
	1.145	—	0,30	
Vidro				
Folha (vidro de soda)	300	2.500	1,4	750
Pyrex	300	2.225	1,4	835

[a]Adaptada das referências bibliográficas 1, 8-13.

Tabela A.4 Propriedades termofísicas de gases na pressão atmosférica[a]

T (K)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m²)	$\nu \cdot 10^6$ (m²/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	Pr
Água (Vapor H_2O)							
380	0,5863	2,060	127,1	21,68	24,6	20,4	1,06
400	0,5542	2,014	134,4	24,25	26,1	23,4	1,04
450	0,4902	1,980	152,5	31,11	29,9	30,8	1,01
500	0,4405	1,985	170,4	38,68	33,9	38,8	0,998
550	0,4005	1,997	188,4	47,04	37,9	47,4	0,993
600	0,3652	2,026	206,7	56,60	42,2	57,0	0,993
650	0,3380	2,056	224,7	66,48	46,4	66,8	0,996
700	0,3140	2,085	242,6	77,26	50,5	77,1	1,00
750	0,2931	2,119	260,4	88,84	54,9	88,4	1,00
800	0,2739	2,152	278,6	101,7	59,2	100	1,01
850	0,2579	2,186	296,9	115,1	63,7	113	1,02
Amônia (NH_3)							
300	0,6894	2,158	101,5	14,7	24,7	16,6	0,887
320	0,6448	2,170	109	16,9	27,2	19,4	0,870
340	0,6059	2,192	116,5	19,2	29,3	22,1	0,872
360	0,5716	2,221	124	21,7	31,6	24,9	0,872
380	0,5410	2,254	131	24,2	34,0	27,9	0,869
400	0,5136	2,287	138	26,9	37,0	31,5	0,853
420	0,4888	2,322	145	29,7	40,4	35,6	0,833
440	0,4664	2,357	152,5	32,7	43,5	39,6	0,826
460	0,4460	2,393	159	35,7	46,3	43,4	0,822
480	0,4273	2,430	166,5	39,0	49,2	47,4	0,822
500	0,4101	2,467	173	42,2	52,5	51,9	0,813
520	0,3942	2,504	180	45,7	54,5	55,2	0,827
540	0,3795	2,540	186,5	49,1	57,5	59,7	0,824
560	0,3708	2,577	193	52,0	60,6	63,4	0,827
580	0,3533	2,613	199,5	56,5	63,8	69,1	0,817
Ar atmosférico							
100	3,5562	1,032	71,7	2,00	9,34	2,54	0,786
150	2,3364	1,012	103,4	4,426	13,8	5,84	0,758
200	1,7458	1,007	132,5	7,590	18,1	10,3	0,737
250	1,3947	1,006	159,6	11,44	22,3	15,9	0,720
300	1,1614	1,007	184,6	15,89	26,3	22,5	0,707
350	0,9950	1,009	208,2	20,92	30,0	29,9	0,700
400	0,8711	1,014	230,1	26,41	33,8	38,3	0,690
450	0,7740	1,021	250,7	32,39	37,3	47,2	0,686
500	0,6964	1,030	270,1	38,79	40,7	56,7	0,684
550	0,6329	1,040	288,4	45,57	43,9	66,7	0,683
600	0,5804	1,051	305,8	52,69	46,9	76,9	0,685
650	0,5356	1,063	322,5	60,21	49,7	87,3	0,690
700	0,4975	1,075	338,8	68,10	52,4	98,0	0,695
750	0,4643	1,087	354,6	76,37	54,9	109	0,702
800	0,4354	1,099	369,8	84,93	57,3	120	0,709
850	0,4097	1,110	384,3	93,80	59,6	131	0,716
900	0,3868	1,121	398,1	102,9	62,0	143	0,720
950	0,3666	1,131	411,3	112,2	64,3	155	0,723
1000	0,3482	1,141	424,4	121,9	66,7	168	0,726
1100	0,3166	1,159	449,0	141,8	71,5	195	0,728
1200	0,2902	1,175	473,0	162,9	76,3	224	0,728
1300	0,2679	1,189	496,0	185,1	82	238	0,719
1400	0,2488	1,207	530	213	91	303	0,703
1500	0,2322	1,230	557	240	100	350	0,685
1600	0,2177	1,248	584	268	106	390	0,688
1700	0,2049	1,267	611	298	113	435	0,685
1800	0,1935	1,286	637	329	120	482	0,683
1900	0,1833	1,307	663	362	128	534	0,677
2000	0,1741	1,337	689	396	137	589	0,672
2100	0,1658	1,372	715	431	147	646	0,667

Tabela A.4 Propriedades termofísicas de gases na pressão atmosférica[a] (cont.)

T (K)	ρ (kg/m^3)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m^2)	$\nu \cdot 10^6$ (m^2/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m^2/s)	Pr
Ar atmosférico (continuação)							
2200	0,1582	1,417	740	468	160	714	0,655
2300	0,1513	1,478	766	506	175	783	0,647
2400	0,1448	1,558	792	547	196	869	0,630
2500	0,1389	1,665	818	589	222	960	0,613
3000	0,1135	2,726	955	841	486	1570	0,536
Dióxido de Carbono (CO_2)							
280	1,9022	0,830	140	7,36	15,20	9,63	0,765
300	1,7730	0,851	149	8,40	16,55	11,0	0,766
320	1,6609	0,872	156	9,39	18,05	12,5	0,754
340	1,5618	0,891	165	10,6	19,70	14,2	0,746
360	1,4743	0,908	173	11,7	21,2	15,8	0,741
380	1,3961	0,926	181	13,0	22,75	17,6	0,737
400	1,3257	0,942	190	14,3	24,3	19,5	0,737
450	1,1782	0,981	210	17,8	28,3	24,5	0,728
500	1,0594	1,02	231	21,8	32,5	30,1	0,725
550	0,9625	1,05	251	26,1	36,6	36,2	0,721
600	0,8826	1,08	270	30,6	40,7	42,7	0,717
650	0,8143	1,10	288	35,4	44,5	49,7	0,712
700	0,7564	1,13	305	40,3	48,1	56,3	0,717
750	0,7057	1,15	321	45,5	51,7	63,7	0,714
800	0,6614	1,17	337	51,0	55,1	71,2	0,716
Hélio (He)							
100	0,4871	5,193	96,3	19,8	73,0	28,9	0,686
120	0,4060	5,193	107	26,4	81,9	38,8	0,679
140	0,3481	5,193	118	33,9	90,7	50,2	0,676
160	—	5,193	129	—	99,2	—	—
180	0,2708	5,193	139	51,3	107,2	76,2	0,673
200	—	5,193	150	—	115,1	—	—
220	0,2216	5,193	160	72,2	123,1	107	0,675
240	—	5,193	170	—	130	—	—
260	0,1875	5,193	180	96,0	137	141	0,682
280	—	5,193	190	—	145	—	—
300	0,1625	5,193	199	122	152	180	0,680
350	—	5,193	221	—	170	—	—
400	0,1219	5,193	243	199	187	295	0,675
450	—	5,193	263	—	204	—	—
500	0,09754	5,193	283	290	220	434	0,668
550	—	5,193	—	—	—	—	—
600	—	5,193	320	—	252	—	—
650	—	5,193	332	—	264	—	—
700	0,06969	5,193	350	502	278	768	0,654
750	—	5,193	364	—	291	—	—
800	—	5,193	382	—	304	—	—
900	—	5,193	414	—	330	—	—
1000	0,04879	5,193	446	914	354	1400	0,654
Hidrogênio (H_2)							
100	0,24255	11,23	42,1	17,4	67,0	24,6	0,707
150	0,16156	12,60	56,0	34,7	101	49,6	0,699
200	0,12115	13,54	68,1	56,2	131	79,9	0,704
250	0,09693	14,06	78,9	81,4	157	115	0,707
300	0,08078	14,31	89,6	111	183	158	0,701
350	0,06924	14,43	98,8	143	204	204	0,700
400	0,06059	14,48	108,2	179	226	258	0,695
450	0,05386	14,50	117,2	218	247	316	0,689
500	0,04848	14,52	126,4	261	266	378	0,691
550	0,04407	14,53	134,3	305	285	445	0,685
600	0,04040	14,55	142,4	352	305	519	0,678
700	0,03463	14,61	157,8	456	342	676	0,675
800	0,03030	15,70	172,4	569	378	849	0,670
900	0,02694	14,83	186,5	692	412	1030	0,671
1000	0,02424	14,99	201,3	830	448	1230	0,673

Tabela A.4 Propriedades termofísicas de gases na pressão atmosférica[a](cont.)

T (K)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m²)	$\nu \cdot 10^6$ (m²/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	Pr
Hidrogênio (H_2) (continuação)							
1100	0,02204	15,17	213,0	966	488	1460	0,662
1200	0,02020	15,37	226,2	1120	528	1700	0,659
1300	0,01865	15,59	238,5	1279	568	1955	0,655
1400	0,01732	15,81	250,7	1447	610	2230	0,650
1500	0,01616	16,02	262,7	1626	655	2530	0,643
1600	0,0152	16,28	273,7	1801	697	2815	0,639
1700	0,0143	16,58	284,9	1992	742	3130	0,637
1800	0,0135	16,96	296,1	2193	786	3435	0,639
1900	0,0128	17,49	307,2	2400	835	3730	0,643
2000	0,0121	18,25	318,2	2630	878	3975	0,661
Monóxido de carbono (CO)							
200	1,6888	1,045	127	7,52	17,0	9,63	0,781
220	1,5341	1,044	137	8,93	19,0	11,9	0,753
240	1,4055	1,043	147	10,5	20,6	14,1	0,744
260	1,2967	1,043	157	12,1	22,1	16,3	0,741
280	1,2038	1,042	166	13,8	23,6	18,8	0,733
300	1,1233	1,043	175	15,6	25,0	21,3	0,730
320	1,0529	1,043	184	17,5	26,3	23,9	0,730
340	0,9909	1,044	193	19,5	27,8	26,9	0,725
360	0,9357	1,045	202	21,6	29,1	29,8	0,725
380	0,8864	1,047	210	23,7	30,5	32,9	0,729
400	0,8421	1,049	218	25,9	31,8	36,0	0,719
450	0,7483	1,055	237	31,7	35,0	44,3	0,714
500	0,67352	1,065	254	37,7	38,1	53,1	0,710
550	0,61226	1,076	271	44,3	41,1	62,4	0,710
600	0,56126	1,088	286	51,0	44,0	72,1	0,707
650	0,51806	1,101	301	58,1	47,0	82,4	0,705
700	0,48102	1,114	315	65,5	50,0	93,3	0,702
750	0,44899	1,127	329	73,3	52,8	104	0,702
800	0,42095	1,140	343	81,5	55,5	116	0,705
Nitrogênio (N_2)							
100	3,4388	1,070	68,8	2,00	9,58	2,60	0,768
150	2,2594	1,050	100,6	4,45	13,9	5,86	0,759
200	1,6883	1,043	129,2	7,65	18,3	10,4	0,736
250	1,3488	1,042	154,9	11,48	22,2	15,8	0,727
300	1,1233	1,041	178,2	15,86	25,9	22,1	0,716
350	0,9625	1,042	200,0	20,78	29,3	29,2	0,711
400	0,8425	1,045	220,4	26,16	32,7	37,1	0,704
450	0,7485	1,050	239,6	32,01	35,8	45,6	0,703
500	0,6739	1,056	257,7	38,24	38,9	54,7	0,700
550	0,6124	1,065	274,7	44,86	41,7	63,9	0,702
600	0,5616	1,075	290,8	51,79	44,6	73,9	0,701
700	0,4812	1,098	321,0	66,71	49,9	94,4	0,706
800	0,4211	1,22	349,1	82,90	54,8	116	0,715
900	0,3743	1,146	375,3	100,3	59,7	139	0,721
1000	0,3368	1,167	399,9	118,7	64,7	165	0,721
1100	0,3062	1,187	423,2	138,2	70,0	193	0,718
1200	0,2807	1,204	445,3	158,6	75,8	224	0,707
1300	0,2591	1,219	466,2	179,9	81,0	256	0,701
Oxigênio (O_2)							
100	3,945	0,962	76,4	1,94	9,25	2,44	0,796
150	2,585	0,921	114,8	4,44	13,8	5,80	0,766
200	1,930	0,915	147,5	7,64	18,3	10,4	0,737
250	1,542	0,915	178,6	11,58	22,6	16,0	0,723
300	1,284	0,920	207,2	16,14	26,8	22,7	0,711

Tabela A.4 Propriedades termofísicas de gases na pressão atmosférica[a](cont.)

T (K)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m²)	$\nu \cdot 10^6$ (m²/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	Pr
Oxigênio (O_2) (continuação)							
350	1,100	0,929	233,5	21,23	29,6	29,0	0,733
400	0,9620	0,942	258,2	26,84	33,0	36,4	0,737
450	0,8554	0,956	281,4	32,90	36,3	44,4	0,741
500	0,7698	0,972	303,3	39,40	41,2	55,1	0,716
550	0,6998	0,988	324,0	46,30	44,1	63,8	0,726
600	0,6414	1,003	343,7	53,59	47,3	73,5	0,729
700	0,5498	1,031	380,8	69,26	52,8	93,1	0,744
800	0,4810	1,054	415,2	86,32	58,9	116	0,743
900	0,4275	1,074	447,2	104,6	64,9	141	0,740
1000	0,3848	1,090	477,0	124,0	71,0	169	0,733
1100	0,3498	1,103	505,5	144,5	75,8	196	0,736
1200	0,3206	1,115	532,5	166,1	81,9	229	0,725
1300	0,2960	1,125	588,4	188,6	87,1	262	0,721

*Adaptada das referências bibliográficas 8, 14 e 15.

Tabela A.5 Propriedades termofísicas de fluidos saturados[a]

Líquidos saturados

T (K)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^2$ (N · s/m²)	$\nu \cdot 10^6$ (m²/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^7$ (m²/s)	Pr	$\beta \cdot 10^3$ (K⁻¹)
Etilenoglicol [$C_2H_4(OH)_2$]								
273	1.130,8	2,294	6,51	57,6	242	0,933	617	0,65
280	1.125,8	2,323	4,20	37,3	244	0,933	400	0,65
290	1.118,8	2,368	2,47	22,1	248	0,936	236	0,65
300	1.114,4	2,415	1,57	14,1	252	0,939	151	0,65
310	1.103,7	2,460	1,07	9,65	255	0,939	103	0,65
320	1.096,2	2,505	0,757	6,91	258	0,940	73,5	0,65
330	1.089,5	2,549	0,561	5,15	260	0,936	55,0	0,65
340	1.083,8	2,592	0,431	3,98	261	0,929	42,8	0,65
350	1.079,0	2,637	0,342	3,17	261	0,917	34,6	0,65
360	1.074,0	2,682	0,278	2,59	261	0,906	28,6	0,65
370	1.066,7	2,728	0,228	2,14	262	0,900	23,7	0,65
373	1.058,5	2,742	0,215	2,03	263	0,906	22,4	0,65
Freon (refrigerante-12) (CCl_2F_2)								
230	1.528,4	0,8816	0,0457	0,299	68	0,505	5,9	1,85
240	1.498,0	0,8923	0,0385	0,257	69	0,516	5,0	1,90
250	1.469,5	0,9037	0,0354	0,241	70	0,527	4,6	2,00
260	1.439,0	0,9163	0,0322	0,224	73	0,554	4,0	21,00
270	1.407,2	0,9301	0,0304	0,216	73	0,558	3,9	2,25
280	1.374,4	0,9450	0,0283	0,206	73	0,562	3,7	2,35
290	1.340,5	0,9609	0,0265	0,198	73	0,567	3,5	2,55
300	1.305,8	0,9781	0,0254	0,195	72	0,564	3,5	2,75
310	1.268,9	0,9963	0,0244	0,192	69	0,546	3,4	3,05
320	1.228,6	1,0155	0,0233	0,190	68	0,545	3,5	3,50
Glicerina [$C_3H_5(OH)_3$]								
273	1.276,0	2.261	1.060	8.310	282	0,977	85.000	0,47
280	1.271,9	2.298	534	4.200	284	0,972	43.200	0,47
290	1.265,8	2.367	185	1.460	286	0,955	15.300	0,48
300	1.259,9	2.427	79,9	634	286	0,935	6.780	0,48
310	1.253,9	2.490	35,2	281	286	0,916	3.060	0,49
320	1.247,2	2.564	21,0	168	287	0,897	1.870	0,50

Tabela A.5 Propriedades termofísicas de fluidos saturados[a] (cont.)

Líquidos saturados

T (K)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^2$ (N · s/m²)	$\nu \cdot 10^6$ (m²/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^7$ (m²/s)	Pr	$\beta \cdot 10^3$ (K⁻¹)
Mercúrio (Hg)								
273	13.595	0,1404	0,1688	0,1240	8.180	42,85	0,0290	0,181
300	13.529	0,1393	0,1523	0,1125	8.540	45,30	0,0248	0,181
350	13.407	0,1377	0,1309	0,0976	9.180	49,75	0,0196	0,181
400	13.287	0,1365	0,1171	0,0882	9.800	54,05	0,0163	0,181
450	13.167	0,1357	0,1075	0,0816	10.400	58,10	0,0140	0,181
500	13.048	0,1353	0,1007	0,0771	10.950	61,90	0,0125	0,182
550	12.929	0,1352	0,0953	0,0737	11.450	65,55	0,0112	0,184
600	12.809	0,1355	0,0911	0,0711	11.950	68,80	0,0103	0,187
Óleo de máquina (virgem)								
273	899,1	1,796	385	4.280	147	0,910	47.000	0,70
280	895,3	1,827	217	2.430	144	0,880	27.500	0,70
290	890,0	1,868	99,9	1.120	145	0,872	12.900	0,70
300	884,1	1,909	48,6	550	145	0,859	6.400	0,70
310	877,9	1,951	25,3	288	145	0,847	3.400	0,70
320	871,8	1,993	14,1	161	143	0,823	1.965	0,70
330	865,8	2,035	8,36	96,6	141	0,800	1.205	0,70
340	859,9	2,076	5,31	61,7	139	0,779	793	0,70
350	853,9	2,118	3,56	41,7	138	0,763	546	0,70
360	847,8	2,161	2,52	29,7	138	0,753	395	0,70
370	841,8	2,206	1,86	22,0	137	0,738	300	0,70
380	836,0	2,250	1,41	16,9	136	0,723	233	0,70
390	830,6	2,294	1,10	13,3	135	0,709	187	0,70
400	825,1	2,337	0,874	10,6	134	0,695	152	0,70
410	818,9	2,381	0,698	8,52	133	0,682	125	0,70
420	812,1	2,427	0,564	6,94	133	0,675	103	0,70
430	806,5	2,471	0,470	5,83	132	0,662	88	0,70

Líquido-vapor, saturados, 1 atm[b]

FLUIDO	T_{sat} (K)	h_{fg} (kJ/kg)	ρ_f (kg/m³)	ρ_g (kg/m³)	$\sigma \cdot 10^3$ (N/m)
Etanol	351	846	757	1,44	17,7
Etilenoglicol	470	812	1.111[c]	—	32,7
Glicerina	563	974	1.260[c]	—	63,0[c]
Mercúrio	630	301	12.740	3,90	417
Refrigerante R-12	243	165	1.488	6,32	15,8
Refrigerante R-13	321	147	1.511	7,38	15,9

[a] Adaptada das referências bibliográficas 15 e 16.
[b] Adaptada das referências bibliográficas 8, 17 e 18.
[c] Os valores correspondem à temperatura de 300 K.

Tabela A.6 Propriedades termofísicas da água saturada[a]

TEMPERATURA, T (K)	PRESSÃO, P (bar)[b]	VOLUME ESPECÍFICO (m^3/kg) $v_f \cdot 10^3$	v_g	CALOR DE VAPORIZAÇÃO, h_{fg} (kJ/kg)	CALOR ESPECÍFICO (kJ/kg · K) $c_{p,f}$	$c_{p,g}$	VISCOSIDADE (N · s/m²) $\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m · K) $k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	NÚMERO DE PRANDTL Pr_f	Pr_g	TENSÃO SUPERFICIAL $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	COEFICIENTE DE EXPANSÃO $\beta_f \cdot 10^6$ (K^{-1})	TEMPERATURA, T (K)
273,15	0,00611	1,000	206,3	2502	4,217	1,854	1750	8,02	569	18,2	12,99	0,815	75,5	−68,05	273,15
275	0,00697	1,000	181,7	2497	4,211	1,855	1652	8,09	574	18,3	12,22	0,817	75,3	−32,74	275
280	0,00990	1,000	130,4	2485	4,198	1,858	1422	8,29	582	18,6	10,26	0,825	74,8	46,04	280
285	0,01387	1,000	99,4	2473	4,189	1,861	1225	8,49	590	18,9	8,81	0,833	74,3	114,1	285
290	0,01917	1,001	69,7	2461	4,184	1,864	1080	8,69	598	19,3	7,56	0,841	73,7	174,0	290
295	0,02617	1,002	51,94	2449	4,181	1,868	959	8,89	606	19,5	6,62	0,849	72,7	227,5	295
300	0,03531	1,003	39,13	2438	4,179	1,872	855	9,09	613	19,6	5,83	0,857	71,7	276,1	300
305	0,04712	1,005	29,74	2426	4,178	1,877	769	9,29	620	20,1	5,20	0,865	70,9	320,6	305
310	0,06221	1,007	22,93	2414	4,178	1,882	695	9,49	628	20,4	4,62	0,873	70,0	361,9	310
315	0,08132	1,009	17,82	2402	4,179	1,888	631	9,69	634	20,7	4,16	0,883	69,2	400,4	315
320	0,1053	1,011	13,98	2390	4,180	1,895	577	9,89	640	21,0	3,77	0,894	68,3	436,7	320
325	0,1351	1,013	11,06	2378	4,182	1,903	528	10,09	645	21,3	3,42	0,901	67,5	471,2	325
330	0,1719	1,016	8,82	2366	4,184	1,911	489	10,29	650	21,7	3,15	0,908	66,6	504,0	330
335	0,2167	1,018	7,09	2354	4,186	1,920	453	10,49	656	22,0	2,88	0,916	65,8	535,5	335
340	0,2713	1,021	5,74	2342	4,188	1,930	420	10,69	660	22,3	2,66	0,925	64,9	566,0	340
345	0,3372	1,024	4,683	2329	4,191	1,941	389	10,89	668	22,6	2,45	0,933	64,1	595,4	345
350	0,4163	1,027	3,846	2317	4,195	1,954	365	11,09	668	23,0	2,29	0,942	63,2	624,2	350
355	0,5100	1,030	3,180	2304	4,199	1,968	343	11,29	671	23,3	2,14	0,951	62,3	652,3	355
360	0,6209	1,034	2,645	2291	4,203	1,983	324	11,49	674	23,7	2,02	0,960	61,4	697,9	360
365	0,7514	1,038	2,212	2278	4,209	1,999	306	11,69	677	24,1	1,91	0,969	60,5	707,1	365
370	0,9040	1,041	1,861	2265	4,214	2,017	289	11,89	679	24,5	1,80	0,978	59,5	728,7	370
373,15	1,0133	1,044	1,679	2257	4,217	2,029	279	12,02	680	24,8	1,76	0,984	58,9	750,1	373,15
375	1,0815	1,045	1,574	2252	4,220	2,036	274	12,09	681	24,9	1,70	0,987	58,6	761	375
380	1,2869	1,049	1,337	2239	4,226	2,057	260	12,29	683	25,4	1,61	0,999	57,6	788	380
385	1,5233	1,053	1,142	2225	4,232	2,080	248	12,49	685	25,8	1,53	1,004	56,6	814	385

Tabela A.6 Propriedades termofísicas da água saturada[a] (cont.)

TEMPERATURA, T (K)	PRESSÃO, P (bar)[b]	VOLUME ESPECÍFICO (m³/kg) $v_f \cdot 10^3$	VOLUME ESPECÍFICO (m³/kg) v_g	CALOR DE VAPORIZAÇÃO, h_{fg} (kJ/kg)	CALOR ESPECÍFICO (kJ/kg · K) $c_{p,f}$	CALOR ESPECÍFICO (kJ/kg · K) $c_{p,g}$	VISCOSIDADE (N · s/m²) $\mu_f \cdot 10^6$	VISCOSIDADE (N · s/m²) $\mu_g \cdot 10^6$	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m · K) $k_f \cdot 10^3$	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m · K) $k_g \cdot 10^3$	NÚMERO DE PRANDTL Pr_f	NÚMERO DE PRANDTL Pr_g	TENSÃO SUPERFICIAL $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	COEFICIENTE DE EXPANSÃO $\beta_f \cdot 10^6$ (K^{-1})	TEMPERATURA, T (K)
390	1,794	1,058	0,980	2212	4,239	2,104	237	12,69	686	26,3	1,47	1,013	55,6	841	390
400	2,455	1,067	0,731	2183	4,256	2,158	217	13,05	688	27,2	1,34	1,033	53,6	896	400
410	3,302	1,077	0,553	2153	4,278	2,221	200	13,42	688	28,2	1,24	1,054	51,5	952	410
420	4,370	1,088	0,425	2123	4,302	2,291	185	13,79	688	29,8	1,16	1,075	49,4	1010	420
430	5,699	1,099	0,331	2091	4,331	2,369	173	14,14	685	30,4	1,09	1,10	47,2		430
440	7,333	1,110	0,261	2059	4,36	2,46	162	14,50	682	31,7	1,04	1,12	45,1		440
450	9,319	1,123	0,208	2024	4,40	2,56	152	14,85	678	33,1	0,99	1,14	42,9		450
460	11,71	1,137	0,167	1989	4,44	2,68	143	15,19	673	34,6	0,95	1,17	40,7		460
470	14,55	1,152	0,136	1951	4,48	2,79	136	15,54	667	36,3	0,92	1,20	38,5		470
480	17,90	1,167	0,111	1912	4,53	2,94	129	15,88	660	38,1	0,89	1,23	36,2		480
490	21,83	1,184	0,0922	1870	4,59	3,10	124	16,23	651	40,1	0,87	1,25	33,9	—	490
500	26,40	1,203	0,0766	1825	4,66	3,27	118	16,59	642	42,3	0,86	1,28	31,6	—	500
510	31,66	1,222	0,0631	1779	4,74	3,47	113	16,95	631	44,7	0,85	1,31	29,3	—	510
520	37,70	1,244	0,0525	1730	4,84	3,70	108	17,33	621	47,5	0,84	1,35	26,9	—	520
530	44,58	1,268	0,0445	1679	4,95	3,96	104	17,72	608	50,6	0,85	1,39	24,5	—	530
540	52,38	1,294	0,0375	1622	5,08	4,27	101	18,1	594	54,0	0,86	1,43	22,1	—	540
550	61,19	1,323	0,0317	1564	5,24	4,64	97	18,6	580	58,3	0,87	1,47	19,7	—	550
560	71,08	1,355	0,0269	1499	5,43	5,09	94	19,1	563	63,7	0,90	1,52	17,3	—	560
570	82,16	1,392	0,0228	1429	5,68	5,67	91	19,7	548	76,7	0,94	1,59	15,0	—	570
580	94,51	1,433	0,0193	1353	6,00	6,40	88	20,4	528	76,7	0,99	1,68	12,8	—	580
590	108,3	1,482	0,0163	1274	6,41	7,35	84	21,5	513	84,1	1,05	1,84	10,5	—	590
600	123,5	1,541	0,0137	1176	7,00	8,75	81	22,7	497	92,9	1,14	2,15	8,4	—	600
610	137,3	1,612	0,0115	1068	7,85	11,1	77	24,1	467	103	1,30	2,60	6,3	—	610
620	159,1	1,705	0,0094	941	9,35	15,4	72	25,9	444	114	1,52	3,46	4,5	—	620
625	169,1	1,778	0,0085	858	10,6	18,3	70	27,0	430	121	1,65	4,20	3,5	—	625
630	179,7	1,856	0,0075	781	12,6	22,1	67	28,0	412	130	2,0	4,8	2,6	—	630
635	190,9	1,935	0,0066	683	16,4	27,6	64	30,0	392	141	2,7	6,0	1,5	—	635
640	202,7	2,075	0,0057	560	26	42	59	32,0	367	155	4,2	9,6	0,8	—	640
645	215,2	2,351	0,0045	361	90	—	54	37,0	331	178	12	26	0,1	—	645
647,3[c]	221,2	3,170	0,0032	0	∞	∞	45	45,0	238	238	∞	∞	0,0	—	647,3[c]

[a]Adaptada da referência bibliográfica 19.
[b]1 bar = 10^5 N/m² = 10^5 Pa.
[c]Temperatura crítica.

Tabela A.7 Propriedades termofísicas de metais líquidos[a]

COMPOSIÇÃO	PONTO DE FUSÃO (K)	T (K)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg · K)	$\nu \cdot 10^7$ (m²/s)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^5$ (m²/s)	Pr
Bismuto	544	589	10.011	0,1444	1,617	16,4	0,138	0,0142
		811	9.739	0,1545	1,133	15,6	1,035	0,0110
		1033	9.467	0,1645	0,8343	15,6	1,001	0,0083
Chumbo	600	644	10.540	0,159	2,276	16,1	1,084	0,024
		755	10.412	0,155	1,849	15,6	1,223	0,017
		977	10.140	—	1,347	14,9	—	—
Potássio	337	422	807,3	0,80	4,608	45,0	6,99	0,0066
		700	741,7	0,75	2,397	39,5	7,07	0,0034
		977	674,4	0,75	1,905	33,1	6,55	0,0029
Sódio	371	366	929,1	1,38	7,516	86,2	6,71	0,011
		644	860,2	1,30	3,270	72,3	6,48	0,0051
		977	778,5	1,26	2,285	59,7	6,12	0,0037
NaK (45%/55%)	292	366	887,4	1,130	6,522	25,6	2,552	0,026
		644	821,7	1,055	2,871	27,5	3,17	0,0091
		977	740,1	1,043	2,174	28,9	3,74	0,0058
NaK (22%/78%)	262	366	849,0	0,946	5,797	24,4	3,05	0,019
		672	775,3	0,879	2,666	26,7	3,92	0,0068
		1033	690,4	0,883	2,118	—	—	—
PbBi (44,5%/55,5%)	398	422	10.524	0,147	—	9,05	0,586	—
		644	10.236	0,147	1,496	11,86	0,790	0,189
		922	9.835	—	1,171	—	—	—
Mercúrio	234	Ver Tabela A.5						

[a]Adaptada de *Liquid Materials Handbook*, 23. ed. Atomic Energy Commission, Department of the Navy, Washington, D.C., 1952.

Tabela A.8 Coeficiente de difusão binário a uma atmosfera[a, b]

SUBSTÂNCIA A	SUBSTÂNCIA B	T (K)	D_{AB} (m²/s)
Gases			
NH_3	Ar atmosférico	298	$0,28 \times 10^{-4}$
H_2O	Ar atmosférico	298	$0,26 \times 10^{-4}$
CO_2	Ar atmosférico	298	$0,16 \times 10^{-4}$
H_2	Ar atmosférico	298	$0,41 \times 10^{-4}$
O_2	Ar atmosférico	298	$0,21 \times 10^{-4}$
Acetona	Ar atmosférico	273	$0,11 \times 10^{-4}$
Benzeno	Ar atmosférico	298	$0,88 \times 10^{-5}$
Naftaleno	Ar atmosférico	300	$0,62 \times 10^{-5}$
Ar	N_2	293	$0,19 \times 10^{-4}$
H_2	O_2	273	$0,70 \times 10^{-4}$
H_2	N_2	273	$0,68 \times 10^{-4}$
H_2	CO_2	273	$0,55 \times 10^{-4}$
CO_2	N_2	293	$0,16 \times 10^{-4}$
CO_2	O_2	273	$0,14 \times 10^{-4}$
O_2	N_2	273	$0,18 \times 10^{-4}$
Soluções diluídas			
Cafeína	H_2O	298	$0,63 \times 10^{-9}$
Etanol	H_2O	298	$0,12 \times 10^{-8}$
Glicose	H_2O	298	$0,69 \times 10^{-9}$
Glicerol	H_2O	298	$0,94 \times 10^{-9}$
Acetona	H_2O	298	$0,13 \times 10^{-8}$
CO_2	H_2O	298	$0,20 \times 10^{-8}$
O_2	H_2O	298	$0,24 \times 10^{-8}$
H_2	H_2O	298	$0,63 \times 10^{-8}$
N_2	H_2O	298	$0,26 \times 10^{-8}$
Sólidos			
O_2	Borracha	298	$0,21 \times 10^{-9}$
N_2	Borracha	298	$0,15 \times 10^{-9}$
CO_2	Borracha	298	$0,11 \times 10^{-9}$
He	SiO_2	293	$0,4 \times 10^{-13}$
H_2	Fe	293	$0,26 \times 10^{-12}$
Cd	Cu	293	$0,27 \times 10^{-18}$
Al	Cu	293	$0,13 \times 10^{-33}$

[a]Adaptada, com autorização, das referências bibliográficas 20, 21 e 22.
[b]Com a hipótese de comportamento ideal, a dependência entre o coeficiente de difusão numa mistura binária de gases e a pressão, e a temperatura pode ser estimada pela relação $D_{AB} \propto p^{-1} T^{3/2}$

Tabela A.9 Constante de Henry para alguns gases em água, a pressão moderada[a]

$H = p_{A,i}/x_{A,i}$ (bar)

T (K)	NH_3	Cl_2	H_2S	SO_2	CO_2	CH_4	O_2	H_2
273	21	265	260	165	710	22.880	25.500	58.000
280	23	365	335	210	960	27.800	30.500	61.500
290	26	480	450	315	1300	35.200	37.600	66.500
300	30	615	570	440	1730	42.800	45.700	71.600
310	—	755	700	600	2175	50.000	52.500	76.000
320	—	860	835	800	2650	56.300	56.800	78.600
323	—	890	870	850	2870	58.000	58.000	79.000

[a]Adaptada, com autorização, da referência bibliográfica 23.

Tabela A.10 Solubilidade de gases em sólidos[a]

GÁS	SÓLIDO	T (K)	$S = C_{A,i}/p_{A,i}$ (kmol/m³ · bar)
O_2	Borracha	298	$3,12 \times 10^{-3}$
N_2	Borracha	298	$1,56 \times 10^{-3}$
CO_2	Borracha	298	$40,15 \times 10^{-3}$
He	SiO_2	293	$0,45 \times 10^{-3}$
H_2	Ni	358	$9,01 \times 10^{-3}$

[a]Adaptada, com autorização, da referência bibliográfica 22.

Tabela A.11 Emissividade total, normal (n) ou hemisférica (h), de algumas superfícies

Sólidos metálicos e seus óxidos[a]

DESCRIÇÃO/COMPOSIÇÃO		EMISSIVIDADE, ε_n OU ε_h, A VÁRIAS TEMPERATURAS (K)										
		100	200	300	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Aço inoxidável												
Comum, polido	*(n)*	0,17	0,17	0,19	0,23	0,30						
Comum, limpo	*(n)*	0,22	0,22	0,24	0,28	0,35						
Comum, ligeiramente oxidado	*(n)*				0,33	0,40						
Comum, muito oxidado	*(n)*				0,67	0,70	0,76					
AISI 347, com oxidação estável	*(n)*			0,87	0,88	0,89	0,90					
Alumínio												
Película muito polida	*(h)*	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06						
Folha brilhante	*(h)*	0,06	0,06	0,07								
Anodizado	*(h)*			0,82	0,76							
Cobre												
Muito polido	*(h)*			0,03	0,03	0,04	0,04	0,04				
Com oxidação estável	*(h)*					0,50	0,58	0,80				
Cromo												
Polido ou de revestimento	*(n)*	0,05	0,07	0,10	0,12	0,14						
Molibdênio												
Polido	*(h)*					0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	0,21	0,26
Jateado, fosco	*(h)*					0,25	0,28	0,31	0,35	0,42		
Com oxidação estável	*(h)*					0,80	0,82					
Níquel												
Polido	*(h)*					0,09	0,11	0,14	0,17			
Com oxidação estável	*(h)*					0,40	0,49	0,57				
Ouro												
Muito polido ou pelicular	*(h)*	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06				
Folha brilhante	*(h)*	0,06	0,07	0,07								
Platina												
Polida	*(h)*						0,10	0,13	0,15	0,18		
Prata												
Polida	*(h)*			0,02	0,02	0,03	0,05	0,08				
Tântalo												
Polido	*(h)*								0,11	0,17	0,23	0,28
Tungstênio												
Polido	*(h)*							0,10	0,13	0,18	0,25	0,29

Tabela A.11 Emissividade total, normal (n) ou hemisférica (h), de algumas superfícies (cont.)

Substâncias não-metálicas[b]

DESCRIÇÃO/COMPOSIÇÃO		TEMPERATURA (K)	EMISSIVIDADE ε
Água	*(h)*	300	0,96
Areia	*(h)*	300	0,90
Asfalto (pavimento)	*(h)*	300	0,85-0,93
Carbeto de silício	*(n)*	600	0,87
		1000	0,87
		1500	0,85
Concreto	*(h)*	300	0,88-0,93
Gelo	*(h)*	273	0,95-0,98
Materiais de construção			
Amianto (folha)	*(h)*	300	0,93-0,96
Tijolo vermelho	*(h)*	300	0,93-0,96
Painel de gesso ou estuque	*(h)*	300	0,90-0,92
Madeira	*(h)*	300	0,82-0,92
Neve	*(h)*	273	0,82-0,90
Óxido de alumínio	*(n)*	600	0,69
		1000	0,55
		1500	0,41
Papel branco	*(h)*	300	0,92-0,97
Pele humana	*(h)*	300	0,95
Pyroceram	*(n)*	300	0,85
		600	0,78
		1000	0,69
		1500	0,57
Refratários (revestimentos de fornos)			
Tijolo de alumina	*(n)*	800	0,40
		1000	0,33
		1400	0,28
		1600	0,33
Tijolo de magnésia	*(n)*	800	0,45
		1000	0,36
		1400	0,31
		1600	0,40
Tijolo isolante de caulim	*(n)*	800	0,70
		1200	0,57
		1400	0,47
		1600	0,53
Rocha	*(h)*	300	0,88-0,95
Solo	*(h)*	300	0,93-0,96
Tecido	*(h)*	300	0,75-0,90
Teflon	*(h)*	300	0,85
		400	0,87
		500	0,92
Tintas			
Negra (Parsons)	*(h)*	300	0,98
Branca (acrílico)	*(h)*	300	0,90
Branca (óxido de zinco)	*(h)*	300	0,92
Vegetação	*(h)*	300	0,92-0,96
Vidro de janela	*(h)*	300	0,90-0,95
Vidro Pyrex	*(n)*	300	0,82
		600	0,80
		1000	0,71
		1200	0,62

[a]Adaptada da referência bibliográfica 1.
[b]Adaptada das referências bibliográficas 1, 9, 24 e 25.

Tabela A.12 Propriedades de alguns materiais em relação à radiação solar[a]

DESCRIÇÃO/COMPOSIÇÃO	α_S	ε^b	α_S/ε	τ_S
Alumínio				
Polido	0,09	0,03	3,0	
Anodizado	0,14	0,84	0,17	
Revestido por sílica	0,11	0,37	0,30	
Folha	0,15	0,05	3,0	
Concreto	0,60	0,88	0,68	
Metal galvanizado (folha)				
Limpa e nova	0,65	0,13	5,0	
Oxidada, atacada pelo tempo	0,80	0,28	2,9	
Metal revestido				
Sulfeto negro	0,92	0,10	9,2	
Óxido de cobalto negro	0,93	0,30	3,1	
Óxido de níquel negro	0,92	0,08	11	
Cromo negro	0,87	0,09	9,7	
Mylar com 0,13 mm de espessura				0,87
Neve				
Partículas finas, recente	0,13	0,82	0,16	
Grânulos de gelo	0,33	0,89	0,37	
Plexiglas, com 3,2 mm de espessura				0,90
Tedlar, com 0,10 mm de espessura				0,92
Teflon, com 0,13 mm de espessura				0,92
Tijolo vermelho (Purdue)	0,63	0,93		0,68
Tintas				
Negra (Parsons)	0,98	0,98	1,0	
Branca (acrílica)	0,26	0,90	0,29	
Branca (óxido de zinco)	0,16	0,93	0,17	
Vidro, com 3,2 mm de espessura				
Folha flutuada em banho metálico ou temperada				0,79
Com baixo teor de óxidos do tipo do de ferro				0,88

[a]Adaptada, com autorização, da referência bibliográfica 25.
[b]Os valores da emissividade nesta tabela correspondem a temperaturas superficiais de aproximadamente 300 K.

REFERÊNCIAS

1. Touloukian, Y. S., and C. Y. Ho, Eds., *Thermophysical Properties of Matter,* Plenum Press, New York; Vol. 1, *Thermal Conductivity of Metallic Solids*; Vol. 2, *Thermal Conductivity of Nonmetallic Solids;* Vol. 4, *Specific Heat of Metallic Solids;* Vol. 5, *Specific Heat of Nonmetallic Solids;* Vol. 7, *Thermal Radiative Properties of Metallic Solids;* Vol. 8, *Thermal Radiative Properties of Nonmetallic Solids;* Vol. 9, *Thermal Radiative Properties of Coatings;* 1972.
2. Touloukian, Y. S., and C. Y. Ho, Eds., *Thermophysical Properties of Selected Aerospace Materials*, Part I: Thermal Radiative Properties; Part II: Thermophysical Properties of Seven Materials. Thermophysical and Eletronic Properties Information Analysis Center, CINDAS, Purdue University, West Lafayette, Ind., 1976.
3. Ho, C. Y., R. W. Powell, and P. E. Liley, "Thermal Conductivity of the Elements: A Comprehensive Review," *J. Phys. Chem. Ref. Data,* 3, Supplement 1, 1974.
4. Desai, P. D., T. K. Chu, R. H. Bogaard, M. W. Ackermann, and C. Y. Ho, Part I: Thermophysical Properties of Carbon Steels, Part II: Thermophysical Properties of Low Chromium Steels, Part III: Thermophysical Properties of Nickel Steels, Part IV: Thermophysical Properties of Stainless Steels, CINDAS Special Report, Purdue University, West Lafayette, Ind., September 1976.
5. American Society for Metals, *Metals Handbook*, Vol. 1, "Properties and Selection of Metals," 8th ed., ASM, Metals Park, Ohio, 1961.
6. Hultgren, R., P. D. Desai, D. T. Hawkins, M. Gleiser, K. K. Kelley, and D. D. Wagman, *Selected Values of the Thermodynamic Properties of the Elements*, American Society of Metals, Metals Park, Ohio, 1973.
7. Hultgren, R., P. D. Desai, D. T. Hawkins, M. Gleiser, and K. K. Kelley, *Selected Values of the Thermodynamic Properties of Binary Alloys,* American Society of Metals, Metals Park, Ohio, 1973.
8. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, *ASHRAE Handbook of Fundamentals,* ASHRAE, New York, 1981.
9. Mallory, J. F., *Thermal Insulation,* Van Nostrand Reinhold, New York, 1969.
10. Hanley, E. J., D. P. DeWitt, and R. E. Taylor, "The Thermal Transport Properties at Normal and Elevated Temperature of Eight Representative Rocks," *Proceedings of the Seventh Symposium on Thermophysical Properties*, American Society of Mechanical Engineers, New York, 1977.
11. Sweat, V. E., "A Miniature Thermal Conductivity Probe for Foods," American Society of Mechanical Engineers, Paper 76-HT-60, August 1976.
12. Kothandaraman, C. P., and S. Subramanyan, *Heat and Mass Transfer Data Book*, Halsted Press, Wiley, New York, 1975.
13. Chapman, A. J., *Heat Transfer*, 4th ed., Macmillan, New York, 1984.
14. Vargaftik, N. B., *Tables of Thermophysical Properties of Liquids and Gases*, 2nd ed., Hemisphere Publishing Corp., New York, 1975.
15. Eckert, E. R. G., and R. M. Drake, *Analysis of Heat and Mass Transfer,* McGraw-Hill, New York, 1972.
16. Vukalovich, M. P., A. I. Ivanov, L. R. Fokin, and A. T. Yakovelev, *Thermophysical Properties of Mercury,* State Committee on Standards, State Service for Standards and Handbook Data, Monograph Series No. 9, Izd. Standartov, Moscow, 1971.
17. Bolz, R. E., and G. L. Tuve, Eds., CRC Handbook of Tables for Applied Engineering Science, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, Fla., 1979.
18. Liley, P. E., comunicação particular, School of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Ind., May 1984.
19. Liley, P. E., Steam Tables in SI Units, comunicação particular, School of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Ind., March 1984.
20. Perry, J. H., Ed., *Manual de Engenharia Química,* 5. ed., Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.
21. Geankoplis, C. J., *Mass Transport Phenomena,* Holt, Rinehart & Winston, New York, 1972.
22. Barrer, R. M., *Diffusion In and Through Solids,* Macmillan, New York, 1941.
23. Spalding, D. B., *Convective Mass Transfer*, McGraw-Hill, New York, 1963.
24. Gubareff, G. G., J. E. Janssen, and R. H. Torborg, *Thermal Radiation Properties Survey,* Minneapolis-Honeywell Regulator Company, Minneapolis, Minn, 1960.
25. Kreith, F. and J. F. Kreider, *Principles of Solar Energy,* Hemisphere Publishing Corp., New York, 1978.