

03

COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS METÁLICOS

Engenharia Mecânica
Prof. Luis Fernando Maffeis

ESCALAS UTILIZADAS E RESPECTIVAS NORMAS TÉCNICAS

Escala	Norma ABNT	Norma ASTM
Brinell	NBR 6394	E 10
Rockwell	NBR 6671	E 18
Vickers	NBR 6672	E 92
Conversão entre as escalas	----	E 140

ESCALA BRINELL

O método baseia-se na impressão, sobre o material, de uma esfera de ϕD , com força P . A calota de ϕd originada é proporcional à dureza do material.

Definição

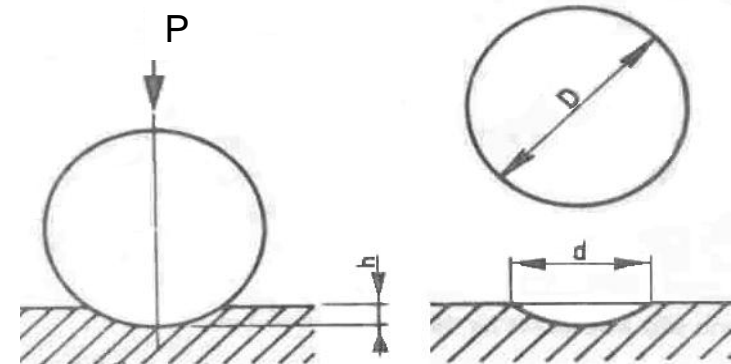
$$HB = \frac{2.P}{\pi.D. \left[D - \sqrt{D^2 - d^2} \right]}$$

P ... carga em Kg

D ... diâmetro da esfera (mm)

d ... diâmetro da marca (mm)

Simbologia



Observações sobre o processo

1. Para medir dureza de metais com até 450 HB.
2. Esfera do penetrador: dureza maior que 850 HB
3. Corpo de provas / peça: com superfície plana, lisa e espessura adequada.
4. Execução do ensaio:
 - Temperatura entre 18 e 28 °C
 - usar dureza maior possível
 - penetrador perpendicular à peça
 - medida de ϕd : em duas posições perpendiculares
 - respeitar distância entre impressões e entre impressão e borda da peça.

Demais detalhes: *consultar a Norma.*

Forças de ensaio

maffeis

Força:

de 5 a 3000 kgf

Esfera:

φ D de 1 a 10 mm

Diâmetro nominal da esfera "D" (mm)	Força de ensaio para graus de carga									
	30		10		5		2,5		1,25	
	N	kgf	N	kgf	N	kgf	N	kgf	N	kgf
10	29.420	3.000	9.800	1.000	4.900	500	2.450	250	1.225	125
5	7.355	750	2.450	250	1.225	125	613	62,5	306,5	31,25
2,5	1.840	187,5	613	62,5	306,5	31,25	153,2	15.625	76,6	7.812
1	294	30	98	10	49	5	-	-	-	-

Grau de Carga:

$$G = F / D^2$$

Grau de carga	30	10	5	2,5	1,25
Intervalo de dureza abrangido	450 a 95,5	200 a 31,8	100 a 15,9	50 a 7,9	25 a 4
Grupos de metais para os quais devem ser preferen- cialmente empregados os graus de carga indicados.	Ligas ferrosas e ligas de alta resistência	Metais e ligas não ferrosas			
	Ferro Aço Aço fundido Ferro fundido Ligas de titânio Ligas de níquel e cobalto para temperaturas elevadas	Ligas de alumínio Ligas de cobre Ligas de magnésio Ligas de zinco Latões Bronzes Cobre Níquel	Alumínio Magnésio Cobre Zinco Latão fundido	Ligas de estanho Ligas de chumbo	Ligas de chumbo Ligas de estanho Metal patente

ESCALA ROCKWELL



Introdução

É a escala mais utilizada

É adequada para processos produtivos

A medida é feita em duas etapas: pré-carga + carga.

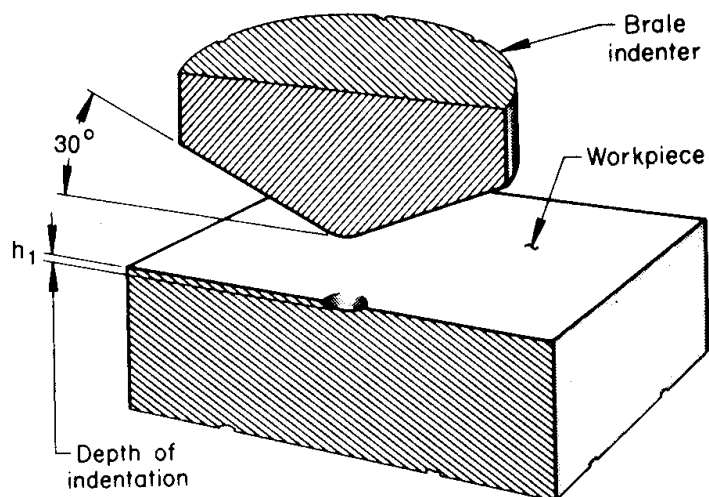
Do incremento “e” deduz-se a dureza.

Escalas existentes

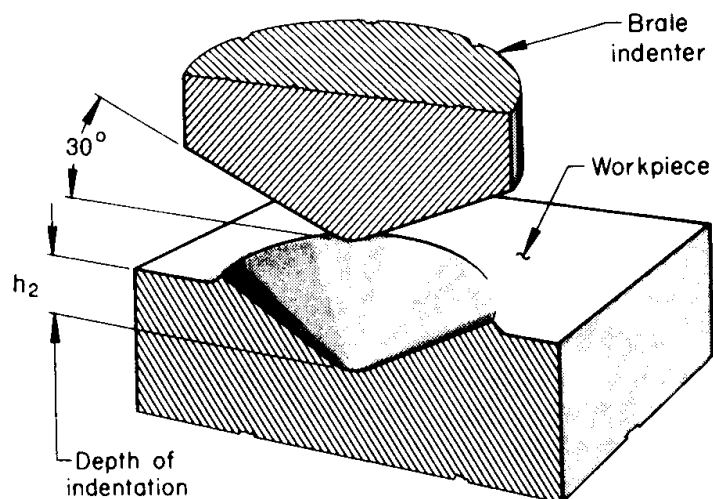
Escala	Penetrador	Carga (kgf)	Leitura na Escala	Aplicações Típicas
B	Esfera 1,58 mm	100	Vermelha	FoFo (ferro fundido), aços não-temperados
C	Diamante (cone)	150	Preta	Aço temperado ou cementado
A	Diamante (cone)	60	Preta	Metal duro, aço fundido/temperado/rápido
D	Diamante (cone)	100	Preta	Aço fundido com espessura reduzida
E	Esfera 3,175 mm	100	Vermelha	FoFo, ligas de alumínio e magnésio, metal duro
F	Esfera 1,588 mm	60	Vermelha	Metais moles, ligas de cobre
G	Esfera 1,588 mm	150	Vermelha	Bronze, fósforo, ligas de berílio, FoFo maleável
H	Esfera 3,175 mm	60	Vermelha	Alumínio, zinco, chumbo, abrasivos
K	Esfera 3,175 mm	150	Vermelha	Metal duro e metais de baixa dureza
L	Esfera 6,350 mm	60	Vermelha	Mesma Rockwell K, borracha e plásticos
M	Esfera 6,350 mm	100	Vermelha	Mesma Rockwell K e L, madeira e plásticos
P	Esfera 6,350 mm	150	Vermelha	Mesma Rockwell K, L e M, plásticos
R	Esfera 12,700 mm	60	Vermelha	Mesma Rockwell K, L e M, plásticos
S	Esfera 12,700 mm	100	Vermelha	Mesma Rockwell K, L e M, plásticos
V	Esfera 12,700 mm	150	Vermelha	Mesma Rockwell K, L, M, P e R ou S

ESCALA DE DUREZA ROCKWELL

- Unidade: HR_
- Sempre números inteiros



(a) Minor load



(b) Major load

TABLE 4.9 COMMONLY USED ROCKWELL HARDNESS SCALES

Symbol, HRX $X =$	Penetrator Diameter if Ball, mm (in)	Load kg	Typical Application
A	Diamond point	60	Tool materials
D	Diamond point	100	Cast irons, sheet steels
C	Diamond point	150	Steels, hard cast irons, Ti alloys
B	1.588 (0.0625)	100	Soft steels, Cu and Al alloys
E	3.175 (0.125)	100	Al and Mg alloys, other soft metals; reinforced polymers
M	6.35 (0.250)	100	Very soft metals; high modulus polymers
R	12.70 (0.500)	60	Very soft metals; low modulus polymers

Penetradores

- Esfera
- Cone de diamante (penetrador Brale)

Forças de Ensaio

Pré-carga	Carga
Normal: 10 kgf	Tabela abaixo.
Superficial: 3 kgf	

Símbolos Rockwell	Força inicial F_0		Força complementar F_1		Força de ensaio F	
	N	kgf	N	kgf	N	kgf
HRA	98 ± 2	10 ± 0,2	490	50	588 ± 5	60 ± 0,5
HRA 62,5	98 ± 2	10 ± 0,2	515	52,6	613 ± 5	62,5 ± 0,5
HRB	98 ± 2	10 ± 0,2	883	90	980 ± 6,5	100 ± 0,65
HRF	98 ± 2	10 ± 0,2	490	50	588 ± 5	60 ± 0,5
HRC	98 ± 2	10 ± 0,2	1373	140	1471 ± 9	150 ± 0,9
HR 15 N	29,4 ± 0,6	3 ± 0,06	117,6	12	147 ± 1	15 ± 0,1
HR 15 T	29,4 ± 0,6	3 ± 0,06	117,6	12	147 ± 1	15 ± 0,1
HR 30 N	29,4 ± 0,6	3 ± 0,06	265	27	294 ± 2	30 ± 0,2
HR 30 T	29,4 ± 0,6	3 ± 0,06	265	27	294 ± 2	30 ± 0,2
HR 45 N	29,4 ± 0,6	3 ± 0,06	412	42	441 ± 3	45 ± 0,3
HR 45 T	29,4 ± 0,6	3 ± 0,06	412	42	441 ± 3	45 ± 0,3

Gamas de Dureza

Rockwell B	0 a 105
Rockwell C	20 a 71
Rockwell F	30 a 100
Rockwell 15 N	67 a 92
Rockwell 30 N	41 a 82
Rockwell 45 N	19 a 73
Rockwell 15 T	72 a 93
Rockwell 30 T	16 a 86
Rockwell 45 T	7 a 72

Designação

D = 30 HRA;

D = 60 HRC;

D = 70 HR 30 N

Vantagens

- Rapidez
- Reprodutividade
- Menor erro de operador
- Sensível a pequenas diferenças em aços de alta dureza
- Pequena impressão: não destrutivo
- Uso de pré-carga: menor necessidade de preparação

Desvantagens

- Escala não contínua
- Requer mudança de penetrador / carga

ESCALA VICKERS

Introdução

Método: impressão de um penetrador de diamante, com força F.
A partir da média das diagonais produzida deduz-se a dureza do material.

Aplicação

Todos materiais metálicos com quaisquer dureza, camadas endurecidas de elevada dureza, peças pequenas, finas e com forma irregular. Com micro-carga é usada também para medir a dureza de fases numa microestrutura multifásica.

Cargas

- microcarga: 1 a 200 gf
- carga pequena: 200 gf a 5 kgf
- normal: 5 a 100 kgf

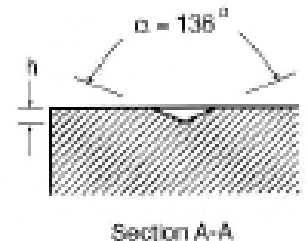
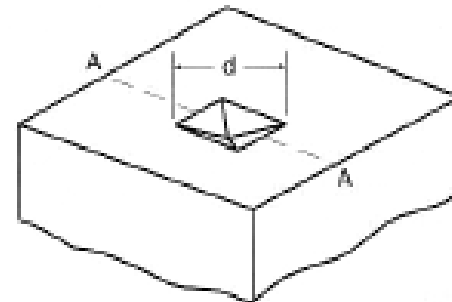
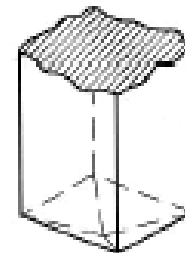
Penetrador

Tronco de cone de diamante de base quadrada.

Definição

$$HV = \frac{1,854.P}{d^2}$$

P ... carga em Kg
d ... diagonal da marca (mm)

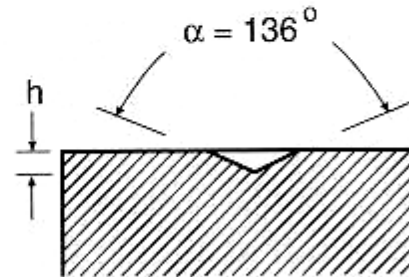
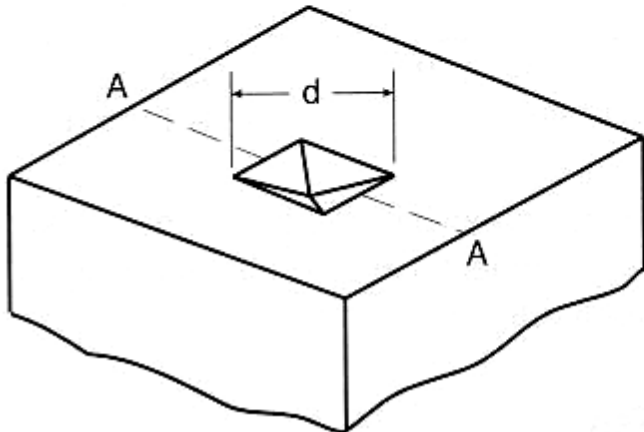
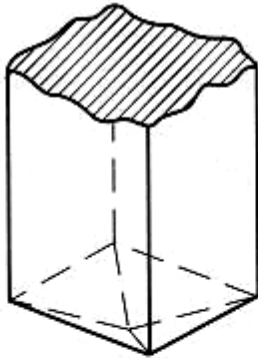


ESCALA DE DUREZA VICKERS

$$HV = \frac{1,854.P}{d^2}$$

P ... carga em Kg

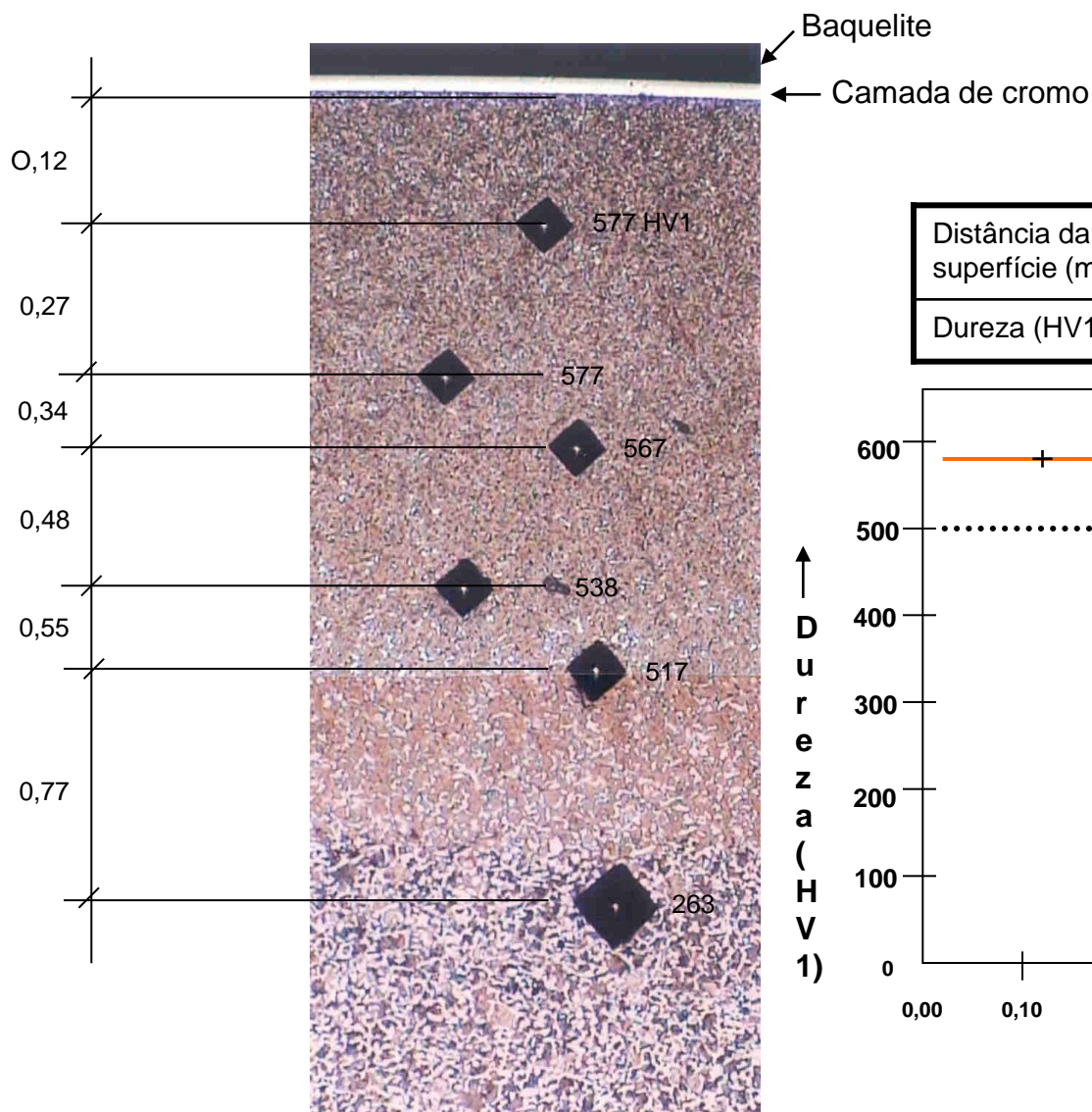
d ... diagonal da marca (mm)



Section A-A

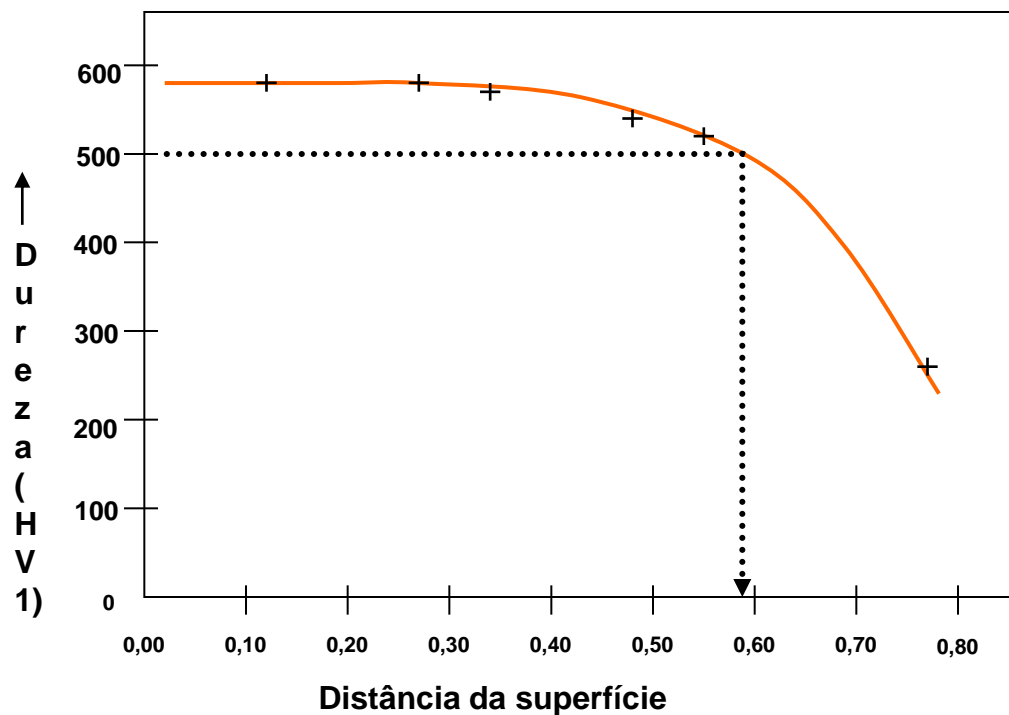
- Unidade: HV
- Números sempre inteiros

Espessura da camada temperada - EHT



Aço: ABNT 1045
 Peça: Haste de amortecedor
 temperada superficialmente

Distância da superfície (mm)	0,12	0,27	0,34	0,48	0,55	0,77
Dureza (HV1)	577	577	567	538	517	263



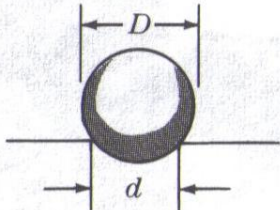
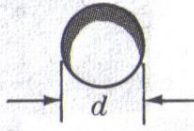
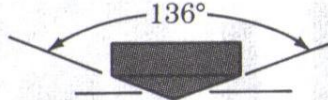
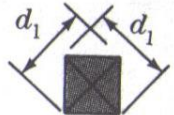
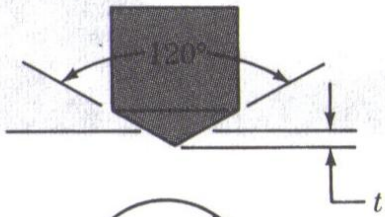

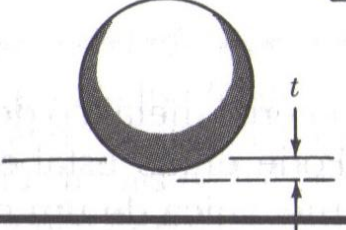

Ensaio	Penetrador	Forma da impressão		Carga	Equação para cálculo da dureza
		Vista lateral	Vista de topo		
Brinell	Esfera de aço ou de carboneto de Tungstênio			P	$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirâmide de Diamante			P	$HV = \frac{1,854 P}{d_1^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Cone de diamante			60 kg	R_A
B } F } G }	Esfera de aço com 1,6 mm de diâmetro			150 kg	R_C
				100 kg	R_D
				100 kg	R_B
				60 kg	R_F
				150 kg	R_G
E	Esfera de aço, com 3,2 mm de diâmetro			100 kg	R_E

TABLE 1 Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-Austenitic Steels (Rockwell C to Other Hardness Numbers)

Rockwell C Hardness Number	Vickers Hardness Number	Brinell Hardness Number ^a		Rockwell Hardness Number		Rockwell Superficial Hardness Number			Scleroscope Hardness ^b	Rockwell C Hardness Number
		10-mm Standard Ball, 3000-kgf Load	10-mm Carbide Ball, 3000-kgf Load	A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	D Scale, 100-kgf Load, Diamond Penetrator	15-N Scale, 15-kgf Load, Superficial Diamond Penetrator	30-N Scale, 30-kgf Load, Superficial Diamond Penetrator	45-N Scale, 45-kgf Load, Superficial Diamond Penetrator		
68	940	...	...	85.6	76.9	93.2	84.4	75.4	97.3	68
67	900	...	...	85.0	76.1	92.9	83.6	74.2	95.0	67
66	865	...	...	84.5	75.4	92.5	82.8	73.3	92.7	66
65	832	...	739	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0	90.6	65
64	800	...	722	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0	88.5	64
63	772	...	705	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9	86.5	63
62	746	...	688	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8	84.5	62
61	720	...	670	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7	82.6	61
60	697	...	654	81.2	70.7	90.2	77.5	66.6	80.8	60
59	674	...	634	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5	79.0	59
58	653	...	615	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3	77.3	58
57	633	...	595	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2	75.6	57
56	613	...	577	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0	74.0	56
55	595	...	560	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9	72.4	55
54	577	...	543	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8	70.9	54
53	560	...	525	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6	69.4	53
52	544	500	512	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4	67.9	52
51	528	487	496	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1	66.5	51
50	513	475	481	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0	65.1	50
49	498	464	469	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8	63.7	49
48	484	451	455	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5	62.4	48
47	471	442	443	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4	61.1	47
46	458	432	432	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3	59.8	46
45	446	421	421	73.1	59.2	83.0	64.0	49.0	58.5	45
44	434	409	409	72.5	58.5	82.5	63.1	47.8	57.3	44
43	423	400	400	72.0	57.7	82.0	62.2	46.7	56.1	43
42	412	390	390	71.5	56.9	81.5	61.3	45.5	54.9	42
41	402	381	381	70.9	56.2	80.9	60.4	44.3	53.7	41
40	392	371	371	70.4	55.4	80.4	59.5	43.1	52.6	40
39	382	362	362	69.9	54.6	79.9	58.6	41.9	51.5	39
38	372	353	353	69.4	53.8	79.4	57.7	40.8	50.4	38

Conversão entre as escalas de dureza segundo a Norma ASTM E 140