

ESCALAS DE DUREZA

Texto original: [Wikipédia, a enciclopédia livre](#)

Julho/2012

Ampliação e ilustrações: [Iran Carlos Stalliviere Corrêa-IG/UFRGS](#)

DUREZA



Máquina para medição da dureza Vickers

Na ciência dos materiais, **dureza** é a propriedade característica de um material sólido, que expressa sua resistência a deformações permanentes e está diretamente relacionada com a força de ligação dos átomos.

Basicamente, a **dureza** pode ser avaliada a partir da capacidade de um material "**riscar**" o outro.

Outra maneira de avaliar a **dureza** é verificar a capacidade de um material penetrar o outro. Na engenharia e na metalurgia, utiliza-se o chamado **ensaio de penetração** para a medição da **dureza**. A partir de um referencial intermediário, a dureza pode ser expressa em diversas unidades. São comuns os seguintes processos:

Dureza	Materiais
Brinell	Metais
Rockwell	Metais
Meyer	Metais
Vickers	Metais, Cerâmicas
Knoop	Metais, Cerâmicas
Shore	Polímeros, Elastômeros, Borrachas
Barcol	Alumínio, Borrachas, Couro, Resinas
IRHD	Borrachas
Mohs	Minerais

Desde que haja um referencial intermediário, a **dureza** é a resistência oferecida por uma determinada liga padrão à penetração de um outro material que fornecerá o **índice de dureza** para os metais, sendo, portanto, de particular interesse para avaliar a resistência ao desgaste, o grau de endurecimento superficial por tratamentos térmicos e a resistência mecânica em geral do material, uma vez que as características mecânicas de sua superfície associadas ao grau de transferência térmica é que responderão como um todo.

No entanto, um fator que gera imprecisões neste tipo de ensaio é o de que os materiais tendem a deformar a impressão deixada após a remoção da carga, devido à excessiva elasticidade ou à grande aderência por plasticidade.

Estes ensaios de **dureza** são realizados mais frequentemente do que outros ensaios mecânicos devido aos seguintes fatores:

- São **simples** e de **baixo custo** – não é necessário a preparação de outro material e o equipamento é relativamente pouco dispendioso;

- Os ensaios **não são destrutivos** (em geral) – o material não é fraturado ou excessivamente deformado, sendo deixada apenas uma pequena impressão. (Porém, um ensaio com penetrador maior, tal como o de **dureza Brinell**, pode ser considerado destrutivo);
- Outras propriedades mecânicas podem ser obtidas através dos ensaios de **dureza**, como a tensão máxima de tração, que pode ser obtida, para a maioria dos aços, através da seguinte equação:

$$TS(MPa) = 3,45HB$$

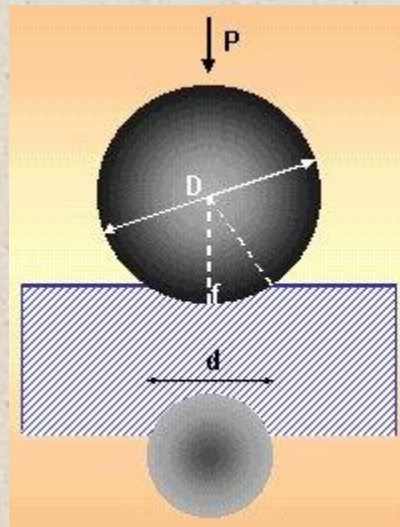
onde "HB" é a **dureza** na escala Brinell.

A facilidade de conversão da **dureza** em um escala para outra é algo desejável. No entanto, como a **dureza** não é uma propriedade do material muito bem definida e, devido às diferenças entre os vários métodos, um esquema compreensível de conversão não foi totalmente definido. As conversões entre os diversos métodos de medição devem ser aplicadas com cautela, devido a variações nos resultados, em função de possíveis heterogeneidades da microestrutura do material. Estas heterogeneidades resultam em resultados diferentes de **dureza**, principalmente quando se utilizam métodos com cargas muito reduzidas (*Viickers e Knoop*). Os métodos com cargas mais elevadas (*Brinell e Rockwell*) resultam em resultados mais homogêneos, representando uma "média" da **dureza** de uma determinada região da peça.

Existem diversos fatores que influenciam a **dureza** dos metais, principalmente:

- Soluções sólidas e Elementos de Liga;
- Tamanho de grão e Direções cristalográficas;
- Trabalho a frio.

DUREZA BRINELL



Esquema de ensaio da dureza Brinell

O **método Brinell** é um método de medição da **dureza**, utilizado principalmente nos materiais metálicos. Este método foi proposto em 1900, pelo engenheiro sueco Johan August Brinell. É o primeiro ensaio de **dureza** normatizado e amplamente utilizado na engenharia e metalurgia.

O teste típico consiste em um penetrador de formato esférico com 10 mm de diâmetro, feito de aço de elevada dureza ou de carbeto de tungstênio.

A carga aplicada varia entre 500 e 3000 kgf e, durante o teste, a carga é mantida constante por um período entre 10 e 30 segundos.

O **número Brinell de dureza** (HB) é função da carga aplicada e do diâmetro da impressão resultante e pode ser obtido através da seguinte relação:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

onde "P" é o valor da carga aplicada (em kgf), "D" é o diâmetro do penetrador e "d" é o diâmetro da impressão resultante, ambos em milímetros.

Uma das grandes desvantagens do ensaio Brinell é o tamanho do penetrador, que muitas vezes causa danos consideráveis à peça analisada.

Para garantir um bom resultado, a medição do diâmetro da impressão deve ser feita em pelo menos duas direções. Além disso, é necessário manter a relação $\frac{P}{D^2}$ constante para obter resultados adequados.

A dimensão da **dureza Brinell** é **MPa** e a uma das normas que a rege é a ASTM E10 (*Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*).



Durômetros para ensaio de dureza Brinell

DUREZA ROCKWELL

O **método Rockwell** é um método de medição direta da **dureza**, sendo um dos mais utilizados em indústrias. Este é um dos métodos mais simples e que não requer habilidades especiais do operador. Além disso, várias escalas diferentes podem ser utilizadas através de possíveis combinações de diferentes penetradores e cargas, o que permite o uso deste ensaio em praticamente todas as ligas metálicas, assim como em muitos polímeros.

Os penetradores incluem esferas fabricadas em aço de elevada dureza, com diâmetros de 1/16, 1/8, 1/4 e 1/2 polegada, assim como cones de diamante, utilizados nos materiais de elevada dureza.

Neste sistema, a **dureza** é obtida através da diferença entre a profundidade de penetração resultante da aplicação de uma pequena carga, seguida por outra de maior intensidade.

A carga inicial aplicada é 10 kgf, seguida por uma carga de 60, 100 ou 150 kgf, conforme a escala utilizada.

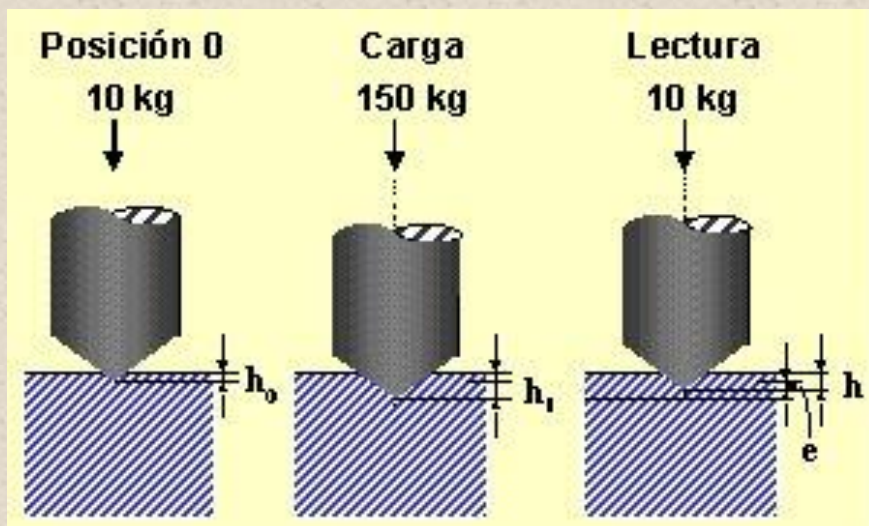
Símbolo	Penetrador	Carga Principal (kgf)
A	Cone de Diamante	60
B	Esfera de 1/16"	100
C	Cone de Diamante	150
D	Cone de Diamante	100
E	Esfera de 1/8"	100
F	Esfera de 1/16"	60
G	Esfera de 1/16"	150
H	Esfera de 1/8"	60
K	Esfera de 1/8"	150

Quando especificar **Rockwell**, o **índice de dureza** e o **símbolo da escala** devem ser indicados. A escala é designada pelo símbolo HR seguido pela identificação apropriada da escala. Por exemplo, 80 HRB representa uma dureza Rockwell de 80 na escala B.

Para cada escala, os valores de **dureza** podem chegar até 130. No entanto, é adequado utilizar outra escala Rockwell caso os valores obtidos sejam inferiores a 20 ou superiores a 100.

Imprecisões podem ocorrer caso a amostra possua pequena espessura, se a impressão ocorrer próxima de um canto da amostra ou próxima de outra impressão. Assim, a espessura do corpo ensaiado deve ser pelo menos dez vezes superior a profundidade da impressão. Além disso, a impressão deve ser feita a uma distância equivalente a três diâmetros do penetrador de outras impressões e cantos da amostra e, a superfície em questão deve possuir uma boa planicidade.

Os equipamentos modernos para obtenção da **dureza Rockwell** são automatizados e muito simples de usar. A dureza é fornecida diretamente pelo equipamento e cada medição requer apenas alguns segundos.



Sequência de cargas, F , e profundidades no ensaio Rockwell.

Normas que regem estes ensaios são a ASTM E18 (Standard methods for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials) e a ISO 6508-1 (Metallic materials - Rockwell hardness test - Part 1: Test method (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)).

Existe um outro tipo de **ensaio Rockwell** utilizado para avaliar a dureza superficial, chamado de **Rockwell superficial**.

Procedimento do Ensaio

1. Na superfície limpa, aplica-se uma pré-carga de 10 kgf,
2. Aplica-se uma carga nominal que pode variar entre 60, 100 ou 150 kgf,
3. Depois de aproximadamente 10 segundos é retirada a carga,
4. E é realizada a leitura da dureza do material diretamente na máquina, por isso, é um método direto de medição de dureza e um dos mais utilizados nas indústrias

DUREZA ROCKWELL SUPERFICIAL

O ensaio **Rockwell superficial** é uma maneira de obter diretamente a **dureza da superfície**, através da diferença entre a profundidade de penetração resultante da aplicação de uma pequena carga, seguida por outra de maior intensidade.

Para estes ensaios, é aplicada uma pré-carga de 3 kgf e as cargas principais são 15, 30 ou 45 kgf. Estas escalas são identificadas por um 15, 30 ou 45 (dependendo da carga), seguido por N, T, W, X ou Y, de acordo com o penetrador.

Símbolo	Penetrador	Carga Principal (kgf)
15N	Cone de Diamante	15
30N	Cone de Diamante	30
45N	Cone de Diamante	45
15T	Esfera de 1/16"	15
30T	Esfera de 1/16"	30
45T	Esfera de 1/16"	45
15W	Esfera de 1/8"	15
30W	Esfera de 1/8"	30
45W	Esfera de 1/8"	45

Quando especificar Rockwell e Rockwell Superficial, o índice de dureza e o símbolo da escala devem ser indicados. Por exemplo, 60 HR30W representa uma dureza Rockwell Superficial de 60 na escala 30W.

DUREZA MEYER

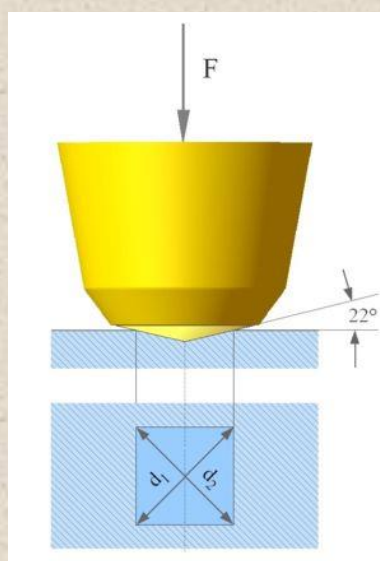
A **escala de dureza Meyer** é um método de medição da **dureza** de um material através de um "ensaio de penetração".

Meyer propôs uma definição mais racional do que a proposta por Brinell, sugerindo que a **dureza** fosse obtida através da área projetada da impressão, ao invés da área superficial, já que a tensão média na superfície da amostra devido a aplicação da carga é igual a carga dividido pela área projetada.

A **escala Meyer** é menos sensível do que a Brinell com o aumento da carga aplicada. Para materiais trabalhados a frio, a **dureza Meyer** é essencialmente constante e independente da carga, ao contrário da Brinell, que diminui com o aumento da carga. Para metais recozidos, a **dureza Meyer** aumenta continuamente com o aumento da carga, devido ao encruamento produzido pela penetração. A Brinell, no entanto, primeiramente aumenta e depois diminui com o aumento da carga aplicada nos ensaios com estes materiais.

No entanto, a **escala Meyer** é muito pouco usado nos ensaios práticos de medida de dureza em comparação a Brinell.

DUREZA VICKERS



Penetrador Vickers.

Dureza Vickers é um método de classificação da **dureza** dos materiais baseada num ensaio laboratorial. Neste método, é usada uma

pirâmide de diamante com ângulo de diedro de 136° que é comprimida, com uma força arbitrária "F", contra a superfície do material. Calcula-se a área "A" da superfície impressa pela medição das suas diagonais.

A dureza Vickers HV é dada por:

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \approx 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

onde

$$d = \frac{d_h + d_v}{2}$$

O método é baseado no princípio de que as impressões provocadas pelo penetrador possuem similaridade geométrica, independentemente da carga aplicada. Assim, cargas de diversas magnitudes são aplicadas na superfície plana da amostra, dependendo da **dureza** a ser medida. O **Número Vickers** (HV) é então determinado pela razão entre a carga (kgf) e a área superficial da impressão (mm^2). Por ser dependente da área a escala Vickers varia rapidamente quando comparada a Rockwell, por exemplo: 68 HRC~940 HV e 60 HRC~697 HV.

Este método foi desenvolvido no início da década de 1920 como uma alternativa ao **Brinell**. Uma das grandes vantagens é que os cálculos da dureza não dependem das dimensões do penetrador.

O mesmo penetrador pode ser usado nos ensaios de diversos materiais, independentemente da dureza. Além disso, esta é uma das escalas mais amplas entre as usadas para medição de dureza e pode ser utilizada para todos os metais, com uma grande precisão de medida.

A grande vantagem deste método é a pequena impressão deixada, sendo que este procedimento é utilizado em ensaios de micro e nano-dureza, na qual é possível analisar cerâmicas e finíssimas camadas de revestimento. As desvantagens são a necessidade de preparar a amostra previamente e o uso de um microscópio adequado.

Este ensaio é normatizado pela ASTM E92 (*Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*).

A conversão das escalas de dureza nem sempre é precisa e recomendada, tendo em vista a sua não linearidade:

Converter de HV para MPa multiplique por 9,807

Converter de HV para GPa multiplique por 0,009807

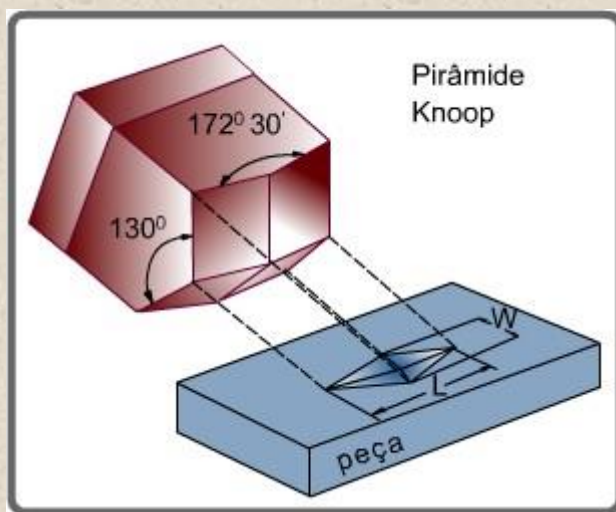
DUREZA KNOOP

O **método Knoop** é utilizado para a medição de **micro-dureza**, na qual um penetrador de diamante, com formato piramidal, é pressionado contra uma superfície devidamente polida.

A **dureza Knoop** é dada pela fórmula:

$$HK = \frac{P}{A} = \frac{P}{C_p L^2}$$

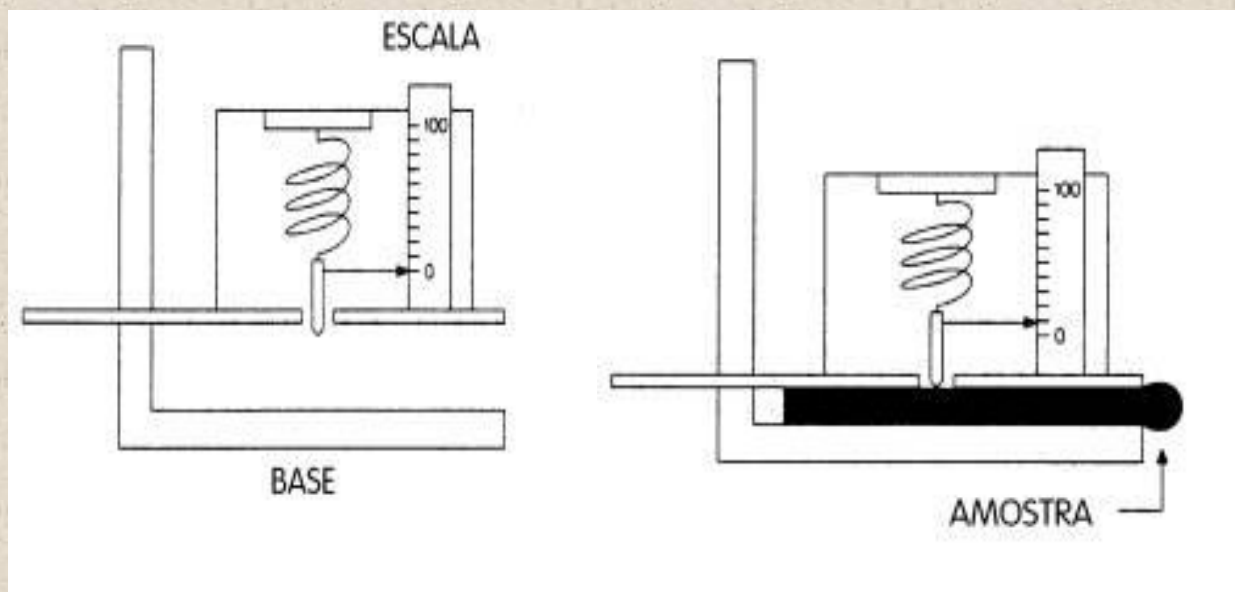
onde "P" é a carga aplicada em kgf, "A" é a área superficial de impressão em mm², "L" é o comprimento da impressão (em mm) ao longo do maior eixo e "C_p" é um fator de correção relacionado ao formato do penetrador (idealmente 0,070279).



Este método foi desenvolvido no **National Bureau of Standards** (hoje NIST), por F. Knoop e é normatizado pela ASTM D1474 (*Standard Test Methods for Indentation Hardness of Organic Coatings*).

Dureza Shorel

Os **PU's** que possuem alto teor de segmentos rígidos segregados são mais duros. O aumento do número de ligações cruzadas em **PU's** macios resulta em maior dureza, desde que não ocorra inibição na formação dos domínios de segmentos rígidos segregados. O uso de plastificantes resulta em redução da dureza, pois diminui as interações intermacromoleculares. A dureza de materiais sólidos é medida em escalas arbitrárias descritas nos métodos ASTM D 785 e ASTM D 2240. Para a caracterização da dureza dos **PU's** sólidos é normalmente utilizado o teste de **dureza Shore**, figura abaixo. Neste teste, um **durômetro** mede a resistência, tomada como a medida da **dureza**, à penetração de um pino pressionado contra o elastômero pela ação de uma mola sob carga padronizada. Um ponteiro move-se através de uma escala para mostrar a resistência à penetração, e as escalas nos **durômetros Shore** variam de 0 a 100. As escalas, normalmente utilizadas para os PU's sólidos, são a **escala Shore A** para os materiais macios e a **Shore D** para os duros. Estas escalas se sobrepõem nos valores mais altos da A e mais baixos da D.



Testes de dureza Shore para PU's sólidos

Dureza Barcol

O **método Barcol** é uma forma de avaliar a dureza de um material através da medida da resistência a penetração de uma ponta de aço forçada por uma mola. No instrumento de medição, chamado de **durômetro de Barcol**, há uma escala entre 0 e 100.

Este método de medição é usado para obter a **dureza** de ligas de alumínio, metais de baixa dureza, como chumbo e latão, polímeros, borrachas e couro. Além disso, é usado para medir o nível de cura de resinas.



Durômetro Zwick Barcol

O **Zwick Barcol** é um medidor de dureza digital especialmente desenvolvido, para ensaiar materiais planos ou levemente curvados, tais quais:

- fibra de vidro reforçadas com plástico
- duroplásticos
- termoplásticos duros
- peças acabadas e semi-acabadas de alumínio

O **durômetro Zwick Barcol** consiste de um penetrador e uma unidade eletrônica Barcol, onde suportes para ensaios seriados estão opcionalmente disponíveis.

Dureza IRHD

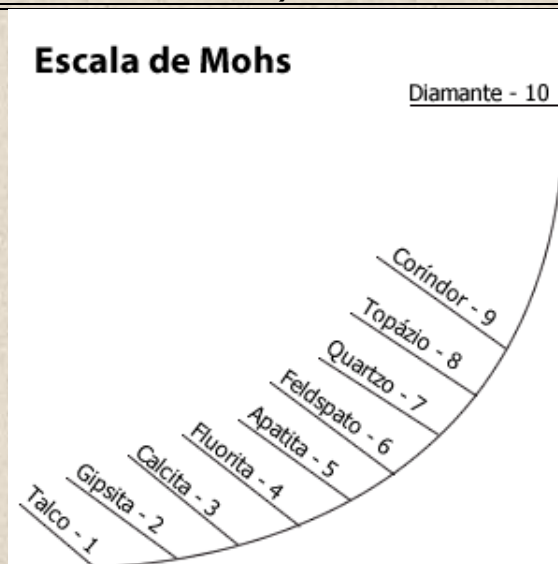
A IRHD (*International Rubber Hardness Degrees*) foi desenvolvida na Europa como uma alternativa para o ensaio **Shore** e fornece quatro métodos para a obtenção da **dureza de borrachas** vulcanizadas e termoplásticos e quatro métodos para a medição da dureza aparente de superfícies curvas.

Os ensaios consistem na medição da diferença entre a profundidade da penetração causada por um penetrador esférico na superfície com aplicação de uma pequena carga, seguida pela aplicação de uma força de grande magnitude.

Escala de Mohs

A **Escala de Mohs** quantifica a dureza dos minerais, isto é, a resistência que um determinado mineral oferece ao **risco**, ou seja, à retirada de partículas da sua superfície. O diamante risca o vidro, portanto, é mais duro que o vidro. Esta escala foi criada em 1812 pelo mineralogista alemão **Friedrich Mohs** com 10 minerais de diferentes durezas existentes na crosta terrestre. Atribuiu valores de 1 a 10. O valor de **dureza 1** foi dado ao material menos duro da escala, que é o talco, e o valor **10** dado ao diamante que é a substância mais dura conhecida na natureza. Esta escala não corresponde à dureza absoluta de um material. Por exemplo, o diamante tem dureza absoluta 1.500 vezes superior à do talco. Entre 1 e 9, a dureza aumenta de modo mais ou menos uniforme, mas de 9 para 10 há uma diferença muito acentuada, pois o diamante é muito mais duro que o coríndon (ou seja, que o rubi e a safira).

Dureza	Mineral	Fórmula química
1	Talco (pode ser arranhado facilmente com a unha)	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
2	Gipsita (ou gesso) (pode ser arranhado com unha com um pouco mais de dificuldade)	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
3	Calcita (pode ser arranhado com uma moeda de cobre)	$CaCO_3$
4	Fluorita (pode ser arranhada com uma faca de cozinha)	CaF_2
5	Apatita (pode ser arranhada dificilmente com uma faca de cozinha)	$Ca_5(PO_4)_3(OH-, Cl-, F-)$
6	Feldspato / ortoclásio (pode ser arranhado com uma liga de aço)	$KAlSi_3O_8$
7	Quartzo (capaz de arranhar o vidro. Ex.: ametista)	SiO_2
8	Topázio (capaz de arranhar o quartzo)	$Al_2SiO_4(OH-, F-)_2$
9	Coríndon (capaz de arranhar o topázio. Exs.: safira e rubi)	Al_2O_3
10	Diamante (mineral mais duro que existe, pode arranhar qualquer outro e é arranhado apenas por outro diamante)	C



Referências

Mohs hardness (mineralogy) -- Britannica Online Encyclopedia (em inglês). *Britannica.com*. Página visitada em 05/01/2012.