

Dureza vickers – definição, normatização e perspectivas de pesquisa: uma revisão

Vickers hardness – definition, standardization and research perspectives: a review

DOI:10.34117/bjdv7n2-274

Recebimento dos originais: 10/01/2020

Aceitação para publicação: 14/02/2021

Thiago de Lima Gontarski

Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas pela Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas, Centro Tecnológico de Joinville - CTJ, Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Rua Dona Francisca, 8300, Bloco U, 89.219-600, SC

Email: thiagogontarski@gmail.com

Rafael Machado Casali

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina
Professor do Departamento de Engenharias da Mobilidade, Centro Tecnológico de Joinville - CTJ, Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Rua Dona Francisca, 8300, Bloco U, 89.219-600, SC

Email: r.casali@ufsc.br

Alexandre Mikowski

Doutor em Física pela Universidade Federal do Paraná
Professor do Departamento de Engenharias da Mobilidade, Centro Tecnológico de Joinville - CTJ, Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Rua Dona Francisca, 8300, Bloco U, 89.219-600, SC

Email: alexandre.mikowski@ufsc.br

RESUMO

Os conceitos de dureza Vickers são fundamentais para a obtenção de resultados confiáveis deste ensaio mecânico. Visto que, na literatura a sua definição é abordada de forma resumida, e o presente trabalho visa desenvolver a sua perspectiva teórica. Para isso, um embasamento histórico, dedução matemática e revisão da literatura em normas técnicas (brasileiras e internacionais) serão apresentados. Além disso, um estudo bibliométrico irá indicar as tendências de pesquisa nesse segmento de caracterização mecânica de materiais.

Palavras-chave: Dureza Vickers; Dedução Matemática; Normatização; Bibliometria.

ABSTRACT

The concepts of Vickers hardness are fundamental to obtain reliable results from this mechanical test. Since, in the literature, its definition is approached briefly, and the present work aims to develop its theoretical perspective. For this, a historical basis, mathematical deduction and literature review on technical standards (Brazilian and

international) will be presented. In addition, a bibliometric study will indicate the research trends in this segment of materials mechanical characterization.

Keywords: Vickers Hardness; Mathematical Deduction; Standardization; Bibliometry.

1 INTRODUÇÃO

A dureza é uma propriedade mecânica utilizada na caracterização mecânica de materiais, de uma forma geral. Comumente, a dureza pode ser medida por ensaios mecânicos de risco ou de penetração, a partir de impressões residuais deixadas pelo penetrador ou indentador. No ensaio de risco, um material mais duro é utilizado para produzir um risco num material mais mole. Já no ensaio de penetração, um indentador é pressionado contra a superfície de um material, e uma impressão residual será produzida, conforme a geometria do indentador (Garcia *et al.*, 2000).

Dentre as diferentes geometrias de indentadores empregadas nos ensaios mecânicos de penetração, destaca-se o indentador piramidal de diamante utilizado no ensaio de dureza Vickers (*HV*), sendo uma metodologia consolidada e amplamente utilizada para investigar a dureza de materiais (Souza, 1982; Garcia *et al.*, 2000). No entanto, esta metodologia é apresentada nas literaturas de engenharia de materiais, ciência de materiais e engenharia mecânica de forma resumida, sem apresentar detalhes quanto à dedução matemática da definição de *HV*, ou mesmo, sem apresentar detalhes de requisitos de normatização para a realização de ensaios mecânicos padronizados (Ashby e Jones, 2007; Askeland e Phulé, 2008; Callister, 2008).

Dentro do contexto exposto, o objetivo geral deste trabalho consiste em realizar uma revisão dos fundamentos teóricos do ensaio mecânico de penetração de dureza Vickers (*HV*). Os objetivos específicos são: (i) deduzir matematicamente a definição de *HV*; (ii) indicar os principais requisitos de normatização para a realização de ensaios de *HV*; (iii) apresentar um estudo bibliométrico, através de dados quantitativos, os quais indicam as tendências de pesquisa científica em periódicos nacionais que envolve ensaios de *HV* em materiais.

2 METODOLOGIA

Segundo Sampieri *et al.* (2013), o desenvolvimento de uma perspectiva teórica referente à definição de dureza Vickers (*HV*), enquadra-se no conceito de marco teórico e revisão da literatura, conforme a metodologia da pesquisa.

E ainda, Sampieri *et al.* (2013) relatam que o desenvolvimento da perspectiva teórica proporciona uma visão sobre o estado da formulação proposta dentro do campo de conhecimento e serve como referência para interpretar os resultados do estudo. Além disso, os autores destacam as seguintes funções: orientar o estudo, prevenir erros, ampliar o horizonte, inspirar novos estudos e fornecer um marco de referência.

Para a definição do marco teórico, o trabalho de Tabor (1970) e os livros de Souza (1982) e Garcia *et al.* (2000) foram selecionados como referenciais bibliográficos, para o embasamento histórico e para a dedução matemática apresentada.

A revisão da literatura foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, realizou-se uma pesquisa descritiva em normas técnicas a fim de caracterizar as variáveis e particularidades do ensaio de dureza Vickers. Sampieri *et al.* (2013) destacam que estudos descritivos visam coletar informações com o intuito de especificar propriedades, características e traços importantes do objeto em análise.

Em relação à segunda etapa da revisão da literatura, será apresentado um estudo bibliométrico realizado na base de dados SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), na coleção de periódicos do Brasil, com a utilização das palavras-chave “Vickers” e “hardness”, em 14/01/2021, para obter dados quantitativos e qualitativos relacionados com o título do periódico, idioma em que o artigo foi redigido, ano de publicação e área temática em que a metodologia de dureza Vickers (*HV*) vem sendo utilizada em pesquisa científica (SciELO, 2021).

3 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA DUREZA VICKERS

O ensaio de dureza Vickers consiste na aplicação de força em um indentador de diamante com formato piramidal, base quadrada e ângulo entre faces opostas de 136° , sob a superfície do material. Esse método foi introduzido inicialmente por Smith e Sandland em 1922. Porém, como o equipamento foi desenvolvido por Vickers-Armstrong Ltda., o ensaio ficou fundamentalmente conhecido como dureza Vickers (Garcia *et al.*, 2000).

Em suma, nos estudos de Smith e Sandland (1922), foi realizada uma análise comparativa entre o ensaio de dureza Brinell (ensaio usual da época) com um método proposto pelos autores. No ensaio Brinell, o indentador tem formato esférico, já o procedimento exposto pelos autores, baseava-se no uso de um indentador de diamante não lapidado com um ponto piramidal natural. Sobretudo, os autores concluíram em seus estudos que seu modelo gerava uma impressão padrão nas peças e o valor de dureza

obtido era o mesmo para toda faixa de trabalho, independente da força aplicada, dispensado a utilização de escalas.

Após a difusão do ensaio de dureza Vickers, Souza (1982) destaca que as principais vantagens do método são: escala contínua; as impressões geradas nas peças em estudo são muito pequenas de modo que não as inutilizam; grande precisão de medida; a deformação do indentador pode ser considerada nula e a existência de apenas uma escala de dureza.

Ainda segundo Souza (1982), como as impressões geradas no ensaio são semelhantes, o valor da dureza Vickers é o mesmo para qualquer força utilizada em materiais homogêneos. Usualmente, a força varia de 1 até 120 kgf, sendo que ela é alterada apenas para se obter uma impressão regular. Além disso, o ensaio de dureza Vickers pode ser aplicado para qualquer espessura de material e para medir durezas superficiais.

Substancialmente a dureza Vickers de um material depende da força aplicada e do tamanho da impressão gerada na peça. Em resumo, após a realização do ensaio, utiliza-se um microscópio acoplado ao equipamento para medir as diagonais da impressão gerada. Portanto, a partir da magnitude da força e da média das diagonais de impressão, calcula-se o valor final da dureza (McColm, 1990).

A expressão matemática que defini a dureza Vickers (HV) será apresentada a seguir, finalizando o marco teórico.

4 DEFINIÇÃO E DEDUÇÃO MATEMÁTICA

Como mencionado anteriormente, o valor de dureza Vickers depende da força aplicada (F) e do tamanho da diagonal da impressão (d) gerada na peça e é definido por (Tabor, 1970; Souza, 1982; Garcia *et al.*, 2000):

$$HV = 1,8544 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

interpreta-se a equação no Sistema Internacional (SI), sendo HV a dureza Vickers em Pascal [Pa], F a força de ensaio em Newtons [N], d representa a média do comprimento das diagonais da impressão gerada na peça (amostra ou corpo de prova), em metros [m], e o valor 1,8544 é descrito como uma constante relativa a geometria do indentador.

Como exemplo, a fim de especificar a magnitude, a Tabela 1 descreve a dureza Vickers para materiais de diferentes classes.

Tabela 1- Dureza Vickers para diferentes materiais, valores no SI.

Classe	Material	Dureza Vickers	Referência
Cerâmica	Vidro comercial alcalino	5,7 GPa	Michél <i>et al.</i> (2004)
Metal	SAE 1020	1,7 GPa	Maharjan, <i>et al.</i> (2020)
Polímero	ABS	0,1 GPa	Grellmann e Seidler (2013)

Fonte: Autores (2021).

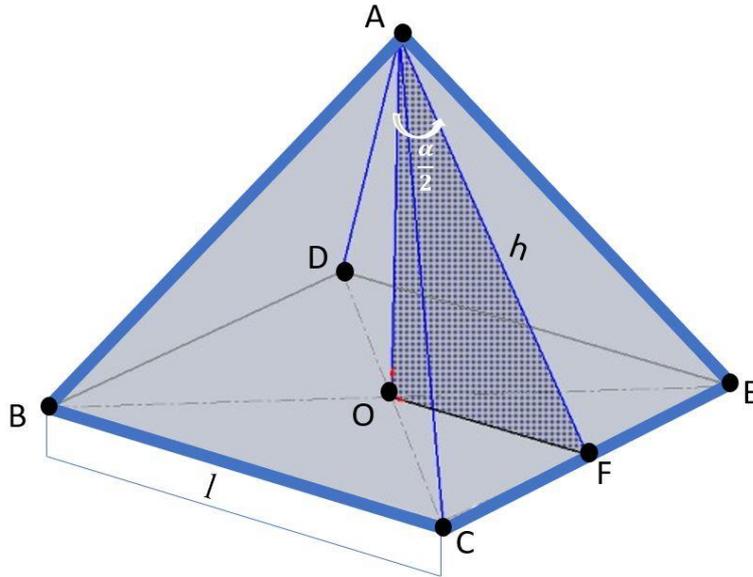
A Equação (1) é a formulação matemática utilizada em indústrias e laboratórios que trabalham com a dureza Vickers. Para melhor compreender as grandezas envolvidas em seu cálculo, será realizado a sua dedução matemática.

Inicialmente, deve-se analisar a formulação de dureza de um modo mais geral, conforme Equação (2) (Tabor, 1970):

$$HV = \frac{F}{A_i} \quad (2)$$

em que A_i descreve a área de impressão gerada na peça em metros quadrados [m^2]. Devido à geometria do indentador, a área de impressão tem o formato das faces de uma pirâmide. Para auxiliar na dedução da área de impressão, a Figura 1 apresenta a vista isométrica de uma pirâmide e sua relação com um triângulo retângulo. As Equações (3), (4) e (5) são as formulações matemáticas para o cálculo da área de uma pirâmide de base quadrada.

Figura 1 - Relações geométricas de uma pirâmide de base quadrada com um triângulo retângulo.



Fonte: Autores (2021).

$$A_p = A_b + A_f \quad (3)$$

$$A_b = l^2 \quad (4)$$

$$A_f = 4 \frac{lh}{2} = 2lh \quad (5)$$

onde A_p é a área da pirâmide, A_b a área da base, A_f a área das faces, h representa a apótema da pirâmide e l a aresta da base.

Como mencionado anteriormente, a área de impressão gerada na peça tem o formato das faces da pirâmide. Devido a limitações em medições relativas à profundidade de impressão, o equacionamento é realizado em termos referentes a geometria superficial.

Segundo Tabor (1970), a área da base de um indentador piramidal com ângulo entre faces de 136° equivale a 0,9272 vezes a área de suas faces, ou seja, $A_b=0,9272A_f$. Portanto, resultando na seguinte equação:

$$HV = 0,9272 \frac{F}{A_b} = 0,9272 \frac{F}{l^2} \quad (6)$$

A relação entre as áreas (r) pode ser deduzida a partir da seguinte razão:

$$r = \frac{A_b}{A_f} = \frac{l^2}{2lh} = \frac{l}{2h} \quad (7)$$

Analisando a Figura 1, é possível perceber o triângulo AOF retângulo cujos vértices são os pontos O, A e F. O segmento de reta (AF) descreve a apótema da pirâmide (h), o qual é a hipotenusa do triângulo AOF. Já o segmento de reta (OF) é um dos catetos do triângulo AOF e equivale à metade da aresta da base ($l/2$). O ângulo (OÂF) é oposto ao cateto (OF) e o seu valor é a metade do ângulo entre as faces opostas da pirâmide ($\alpha/2$). Portanto, a partir de relações trigonométricas, encontra-se uma expressão para h , conforme Equações (8) e (9):

$$\text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{(l/2)}{h} \quad (8)$$

$$h = \frac{(l/2)}{\text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (9)$$

Assim, substituindo a Equação (9) na Equação (7), a razão resultante é expressa por:

$$r = \text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (10)$$

Então, substituindo o valor do ângulo α por 136° , obtém-se o valor de 0,9272, igualando-se ao descrito por Tabor (1970).

Ainda, a fim de reduzir o número de incertezas de medições, a equação da dureza pode ser descrita em termos das diagonais da base a partir da seguinte relação:

$$d = \sqrt{2}l \quad (11)$$

isolando o l , tem-se:

$$l = \frac{d}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

Substituindo a Equação (12) na Equação (6), obtém-se a expressão final para o cálculo da dureza Vickers, ou seja, encontrando novamente a Equação (1).

$$HV = 0,9272 \frac{F}{\left(\frac{d}{\sqrt{2}}\right)^2} = 1,8544 \frac{F}{d^2} \quad (13)$$

Finalmente, análogo à Equação (1) e à dedução apresentada, Souza (1982) apresenta a seguinte formulação matemática para representar a dureza Vickers:

$$HV = \frac{2F}{d^2} \text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (14)$$

5 NORMATIZAÇÃO DO ENSAIO

Nesta seção serão especificados os principais aspectos referentes ao equipamento e ao procedimento de ensaio de dureza Vickers. Ademais, as informações apresentadas estão baseadas em documentos técnicos para diferentes aplicações do ensaio, são exemplos normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e normas técnicas da Sociedade Americana de Testes e Materiais, do inglês *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Segundo a Norma da ABNT (2019a) o ensaio de dureza Vickers é dividido em três categorias em relação à faixa de força aplicada: (i) o ensaio de dureza Vickers, (ii) o ensaio de dureza Vickers com força baixa e (iii) o ensaio de microdureza Vickers. A Tabela 2 apresenta a faixa de forças para cada método de ensaio.

Tabela 2- Faixas de força de ensaio.

Faixa de força de ensaio, F [N]	Categoria
$F \geq 49,03$	Faixa de forças que descrevem o ensaio de dureza Vickers
$1,961 \leq F < 49,03$	Faixa de forças que descrevem o ensaio de dureza Vickers com força baixa
$0,009807 \leq F < 1,961$	Faixa de forças que descrevem o ensaio de microdureza Vickers

Fonte: Adaptado de ABNT (2019a).

O Quadro 1 apresenta um exemplo de designação do número de dureza conforme a Norma ABNT (2019a).

Quadro 1 - Designação da dureza Vickers.

Ordem	Exemplo de valor designado	Descrição do item.
1	675	Valor da dureza Vickers
2	HV	Símbolo de dureza
3	30	Força aplicada no ensaio [kgf]
4	/20	Tempo de duração da força de ensaio [s], se não estiver na faixa especificada (10 a 15 s)
675 HV 30 /20		Designação final conforme a norma

Fonte: Autores (2021).

O equipamento para realização do ensaio divide-se basicamente em: máquina de ensaio, indentador (também chamado de penetrador) e sistema de medição das diagonais.

A máquina de ensaio deve ser capaz de aplicar força(s) predeterminada(s) dentro das faixas desejadas das forças de ensaio, conforme Tabela 3.

Tabela 3- Tolerância da força de ensaio.

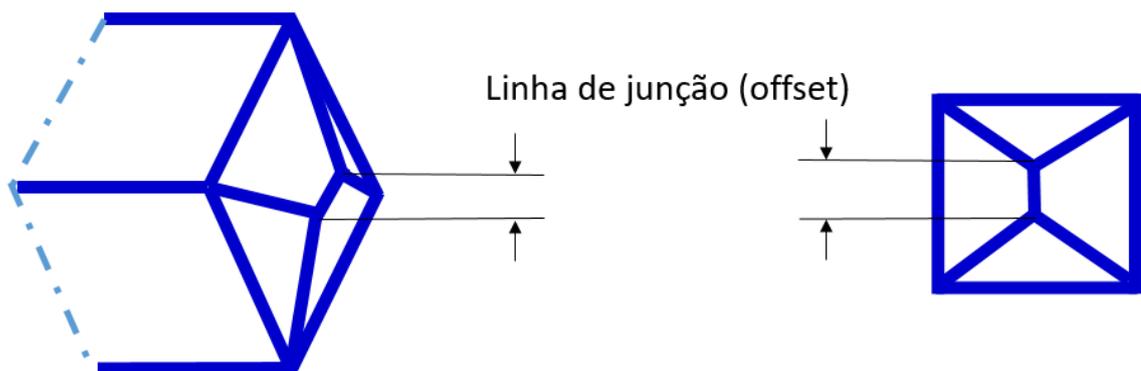
Faixas de força de ensaio nominal, F_{rs} [N]	Erro relativo admissível máximo, ΔF_{rel}
$0,009807 \leq F_{rs} < 0,09807$	$\pm 2,0 \%$ de F
$0,09807 \leq F_{rs} < 1,961$	$\pm 1,5 \%$ de F
$F_{rs} \geq 1,961$	$\pm 1,0 \%$ de F

Fonte: Adaptado de ABNT (2019b).

O indentador deve ser um diamante na forma de uma pirâmide reta com base quadrada e ângulo entre faces de 136° , sendo que suas faces devem ser polidas e livres de defeitos superficiais.

A Figura 2 apresenta a geometria de um indentador (ou penetrador) Vickers. Na pirâmide está representada a linha de junção (*offset*). Define-se linha de junção como a linha de encontro entre as faces opostas da pirâmide, sabe-se que idealmente as quatro faces se encontram em um único ponto, porém, isso não ocorre na prática.

Figura 2 - Geometria do indentador indicando a linha de junção.



Fonte: Adaptado de ASTM (2017a).

Tabela 4- Tolerância da linha de junção.

Aplicação	Comprimento máximo da linha de junção	Referências
Ensaio de dureza Vickers para materiais metálicos	2,0 μm	ABNT (2019b)
Ensaio de dureza Vickers de baixa força para materiais metálicos	1,0 μm	ABNT (2019b)
Ensaio de microdureza Vickers para materiais metálicos	0,5 μm	ABNT (2019b)
Ensaio de dureza Vickers com indentador Classe B	1,0 μm	ASTM (2017a)
Ensaio de dureza Vickers com indentador Classe A	0,3 μm	ASTM (2017a)
Ensaio de microdureza Vickers	0,5 μm	ASTM (2017b)
Ensaio de dureza Vickers para cerâmica avançada	0,5 μm	ASTM (2015)

Fonte: Autores (2021).

O comprimento da linha de junção deve ser determinado pela medição direta da ponta do indentador ou pela medição da impressão da ponta na peça. A Tabela 4 demonstra o comprimento máximo admissível da linha de junção para diversas aplicações.

Com relação ao ângulo entre faces, a Tabela 5 apresenta a tolerância máxima admissível.

Tabela 5- Tolerância do ângulo entre faces.

Aplicação	Ângulo entre faces	Referência
Ensaio de dureza Vickers para materiais metálicos	$136^\circ \pm 30'$	ABNT (2019b)
Ensaio de dureza Vickers de baixa força para materiais metálicos	$136^\circ \pm 30'$	ABNT (2019b)
Ensaio de microdureza Vickers para materiais metálicos	$136^\circ \pm 30'$	ABNT (2019b)
Ensaio de dureza Vickers com indentador Classe B	$136^\circ \pm 30'$	ASTM (2017a)
Ensaio de dureza Vickers com indentador Classe A	$136^\circ \pm 6'$	ASTM (2017a)

Ensaio de microdureza Vickers	136° ± 30'	ASTM (2017b)
Ensaio de dureza Vickers para cerâmica avançada	136° ± 30'	ASTM (2015)

Fonte: Autores (2021).

Ainda, para todas as aplicações listadas na Tabela 5, o ângulo formado entre o eixo da pirâmide de diamante com o eixo da porta penetrador (fixador) deve ser inferior a 30' (ABNT, 2019b).

Sobre a aplicação da força, o indentedor deve entrar em contato com a superfície do material de ensaio e a força deve ser aplicada em uma direção perpendicular à mesma, evitando choque, vibração ou sobrecarga (força), até que a força atinja o valor especificado. O tempo desde a aplicação inicial da força até que seja alcançada a força final de ensaio é apresentado na Tabela 6 (ABNT, 2019a).

Em geral, a duração da força de ensaio deve estar entre 10 a 15 segundos. São exceções materiais cujas propriedades dependem do tempo, nesse caso, a duração deve ser especificada como parte da designação da dureza (como no exemplo ilustrado pelo Quadro 1) e definida no relatório (ABNT, 2019a).

Tabela 6- Tempo da aplicação inicial da força até atingir a força máxima.

Aplicação	Tempo	Referência
Ensaio de dureza Vickers para materiais metálicos	7 ⁺¹ ₋₅ s	ABNT (2019a)
Ensaio de dureza Vickers de baixa força para materiais metálicos	7 ⁺¹ ₋₅ s	ABNT (2019a)
Ensaio de microdureza Vickers para materiais metálicos	7 ⁺¹ ₋₅ s	ABNT (2019a)
Ensaio de dureza Vickers com indentedor Classe B	10s	ASTM (2017a)
Ensaio de dureza Vickers com indentedor Classe A	10s	ASTM (2017a)
Ensaio de microdureza Vickers	10s	ASTM (2017b)
Ensaio de dureza Vickers para cerâmica avançada	10s	ASTM (2015)

Fonte: Autores (2021).

As normas também indicam a velocidade em que o indentedor deve entrar em contato com o corpo de prova, descrito na Tabela 7.

Tabela 7- Velocidade admissível [mm/s] para o indentador entrar em contato com o corpo de prova.

Aplicação	Velocidade	Referência
Ensaio de dureza Vickers para materiais metálicos	$v \leq 0,200$	ABNT (2019a)
Ensaio de dureza Vickers de baixa força para materiais metálicos	$v \leq 0,200$	ABNT (2019a)
Ensaio de microdureza Vickers para materiais metálicos	$v \leq 0,200$	ABNT (2019a)
Ensaio de dureza Vickers com indentador Classe B	$0,015 \leq v \leq 0,070$	ASTM (2017a)
Ensaio de dureza Vickers com indentador Classe A	$0,015 \leq v \leq 0,200$	ASTM (2017a)
Ensaio de microdureza Vickers	$0,015 \leq v \leq 0,200$	ASTM (2017b)
Ensaio de dureza Vickers para cerâmica avançada	$0,015 \leq v \leq 0,200$	ASTM (2015)

Fonte: Autores (2021).

Em relação ao sistema de medição das diagonais, a resolução necessária é função da diagonal de impressão. Quando o comprimento diagonal é maior ou igual a 0,02 mm e menor que 0,08 mm, a resolução necessária do sistema de medição deve ser igual a 0,0004 mm. Para diagonais de indentação que estão na faixa de $0,080 \leq d \leq 1,400$, a resolução do sistema de medição equivale a 0,5 % do valor da diagonal (d) (ABNT, 2019a).

A distância mínima entre impressões adjacentes é função do comprimento das diagonais (d), de modo que esta distância deve ser maior ou igual a 4 vezes o tamanho da média das diagonais, a partir do centro de cada impressão, e maior ou igual a 3 vezes a média das diagonais considerando os corners internos de cada impressão. Porém, em casos em que há a geração de trincas, a distância entre impressões é função do comprimento das trincas (ASTM, 2015), em que trincas radiais primárias e secundárias emanam nos corners da impressão (Michél *et al.*, 2004). Assim, a distância mínima entre impressões quando há a geração de trincas radiais deve ser maior ou igual a 5 vezes o

tamanho da trinca radial, distância medida a partir do centro de cada impressão, e maior que 3 vezes o tamanho da trinca radial se medida a partir das extremidades das trincas radiais geradas nos corners internos entre impressões adjacentes (ASTM, 2015).

Portanto, a Tabela 8 retrata a distância mínima entre indentações para diversas aplicações.

Tabela 8- Distância mínima entre impressões adjacentes. As variáveis d e c representam respectivamente o comprimento da diagonal da impressão Vickers e comprimento da trinca radical primária.

Aplicação	Distância [mm]	Referência
Ensaio de dureza Vickers para materiais metálicos - aço, cobre e ligas de cobre	$3d$	ABNT (2019a)
Ensaio de dureza Vickers para materiais metálicos - metais leves, chumbo, estanho e suas ligas	$6d$	ABNT (2019a)
Ensaio de dureza Vickers com indentador Classe B	$2,5d$	ASTM (2017a)
Ensaio de dureza Vickers com indentador Classe A	$2,5d$	ASTM (2017a)
Ensaio de microdureza Vickers	$2,5d$	ASTM (2017b)
Ensaio de dureza Vickers para cerâmica avançada	$4d$ ou $5c$	ASTM (2015)

Fonte: Autores (2021).

O procedimento para realização do ensaio será descrito baseado na norma ABNT (2019a), o qual apresenta o caso mais geral e está em concordância com as outras normas citadas.

Inicialmente, é relatado pela norma que a temperatura para realização do ensaio deve estar na faixa de 10°C a 35°C. Se o ensaio for realizado a uma temperatura fora deste intervalo, deve ser descrito no relatório técnico.

Devem ser realizadas verificações periódicas no equipamento uma semana antes do uso para cada força que será utilizada no ensaio. Também se recomenda a verificação no dia do procedimento. Além disso, a verificação periódica é indicada sempre que a força de ensaio for alterada ou que o penetrador for trocado (ABNT, 2019a).

O Corpo de Prova (CP) submetido ao ensaio deve ser colocado sobre um suporte rígido, limpo e livre de substâncias (como oxidação, óleo, sujeira, entre outras). É essencial que o CP fique firmemente apoiado no suporte, evitando que ocorram deslocamentos durante o ensaio mecânico de penetração que afetem os resultados.

Como mencionado anteriormente, o indentador deve entrar em contato com a superfície de ensaio e a força deve ser aplicada em uma direção perpendicular à mesma,

evitando choque, vibração ou sobrecarga (força), até que a força atinja o valor especificado (Tabela 6).

Após a aplicação da força, os comprimentos das duas diagonais devem ser medidos. É realizado o cálculo da média aritmética das leituras das diagonais, para assim efetuar o cálculo da dureza Vickers.

Vale ressaltar, que o perímetro da impressão deve estar claramente especificado no campo de visão do microscópio óptico. Convém que as ampliações sejam selecionadas de modo que a diagonal possa ser ampliada na faixa de 25% a 75% do campo de visão ótica máxima possível.

Então, calcula-se o valor da dureza *HV* de acordo com a Equação (1). O resultado deve ser expresso conforme o exemplo apresentado no Quadro 1.

Finalmente, elabora-se o relatório técnico do ensaio. Nele devem constar informações como: identificação do corpo de prova; data do ensaio; resultado da dureza em *HV*; operações realizadas que não foram especificadas na norma ou consideradas opcionais; detalhes de quaisquer circunstâncias que tenham afetado os resultados; temperatura do ensaio, caso esteja fora da faixa especificada em norma; quando é realizada a conversão para outra escala de dureza, a base e o método dessa conversão.

6 CENÁRIO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS

A perspectiva do cenário de pesquisa científica em envolvendo ensaio mecânico de penetração, especificamente com o método de dureza Vickers (*HV*), será apresentada nesta seção através de um estudo por meio de uma bibliometria (Araújo, 2006; Silva *et al.* 2011).

Nas palavras de Price (1976), os objetivos da bibliometria são definidos como: “Deixando de lado os julgamentos de valor, parece clara a importância de se dispor de uma distribuição que nos informe sobre o número de autores, trabalhos, países ou revistas que existem em cada categoria de produtividade, utilidade ou o que mais desejarmos saber”.

A plataforma SciELO foi selecionada e utilizada para a realização do estudo bibliométrico, com a aplicação do filtro “Coleções: Brasil”, com a inserção das palavras-chave “Vickers” e “hardness” no campo da pesquisa realizada, a qual forneceu um total de 211 artigos científicos (SciELO, 2021).

Os 21 periódicos em que os 211 artigos científicos foram publicados, bem como a quantidade de artigos publicados, são: (i) Materials Research – 71 artigos; (ii) Matéria

(Rio de Janeiro) – 35 artigos; (iii) Soldagem & Inspeção – 26 artigos; (iv) Brazilian Oral Research – 16 artigos; (v) Journal of Applied Oral Science – 15 artigos; (vi) Brazilian Dental Journal – 11 artigos; (vii) Cerâmica – 9 artigos; (viii) Revista de Odontologia da UNESP – 6 artigos; (ix) Rem: Revista Escola de Minas – 4 artigos; (x) Journal of Aerospace Technology and Management – 3 artigos; (xi) Brazilian Journal of Oral Sciences – 2 artigos; (xii) Brazilian Journal of Physics – 2 artigos; (xiii) Latin American Journal of Solids and Structures – 2 artigos; (xiv) RGO – Revista Gaúcha de Odontologia – 2 artigos; (xv) Anais da Academia Brasileira de Ciências – 1 artigo; (xvi) Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada – 1 artigo; (xvii) Pesquisa Odontológica Brasileira – 1 artigo; (xviii) Polímeros – 1 artigo; (xix) Química Nova – 1 artigo; (xx) Revista Brasileira de Medicina do Esporte – 1 artigo; (xxi) Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial – 1 artigo.

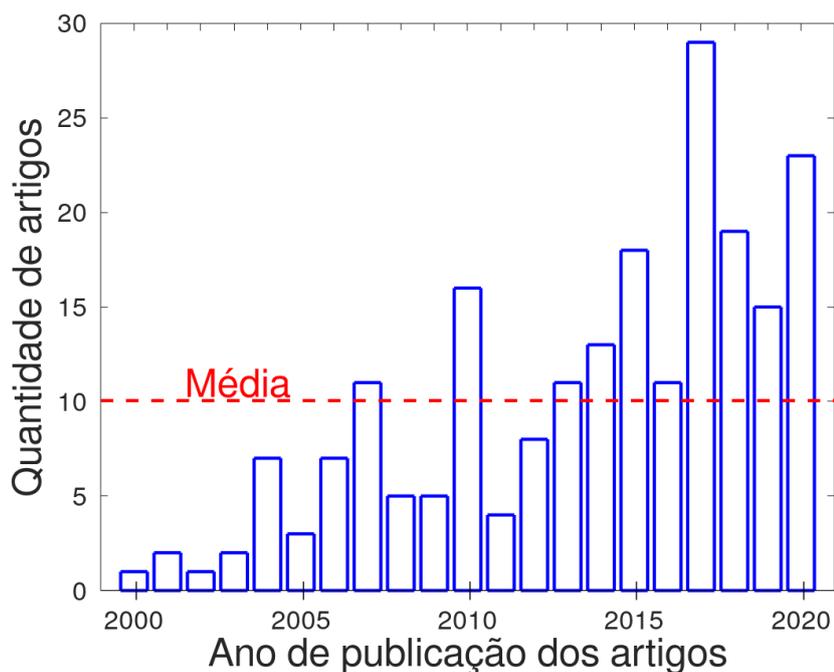
Os 211 artigos científicos publicados nos periódicos relacionados, anteriormente, estão distribuídos em 4 áreas temáticas, sendo: (i) Engenharias – 151 artigos; (ii) Ciências da Saúde – 56 artigos; (iii) Ciências Exatas e da Terra – 3 artigos e (iv) Multidisciplinar – 1 artigo.

Observa-se uma predominância em periódicos relacionados com Ciência e Engenharia de Materiais e Odontologia, sendo essa observação corroborada com os dados apresentados para as diferentes áreas temáticas. E ainda, 144 artigos científicos foram redigidos no idioma Inglês, 57 em Português e 10 em Espanhol, demonstrando uma abrangência internacional de pesquisas realizadas e que utilizam o método de dureza Vickers (*HV*).

O gráfico apresentado na Figura 3 mostra a quantidade de artigos em função do ano de publicação dos artigos, para uma amostragem de 211 dados. O período de abrangência da pesquisa varia dos anos de 2000 até 2020, totalizando 21 anos.

A distribuição apresentada é assimétrica à direita, apresenta oscilações e indica um interesse de pesquisa a partir do ano de 2007, em que a quantidade de artigos científicos publicados, ultrapassou a média (linha vermelha pontilhada na horizontal) de 10,048. O ápice ocorre para o ano de 2017, em que 29 artigos científicos foram publicados.

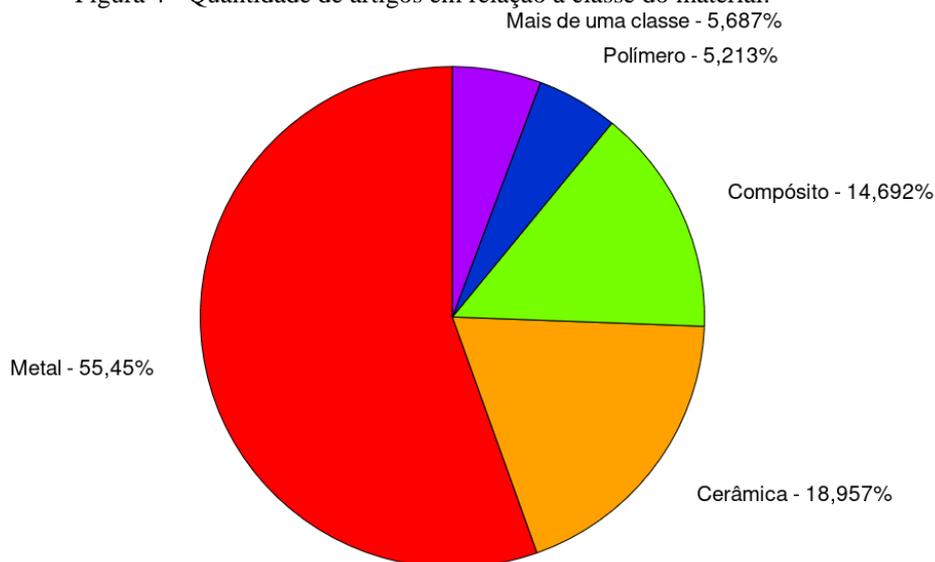
Figura 3 - Quantidade de artigos em função do ano de publicação dos artigos.



Fonte: Autores (2021).

O gráfico apresentado na Figura 4 descreve a porcentagem de artigos encontrados em relação à classe do material avaliado. Desse modo, verificou-se que 117 estudos realizaram ensaio de dureza Vickers apenas em materiais metálicos, 40 em materiais cerâmicos, 31 em materiais compósitos e 11 em materiais poliméricos.

Figura 4 - Quantidade de artigos em relação à classe do material.



Fonte: Autores (2021).

Além disso, destaca-se que 12 trabalhos realizaram o ensaio *HV* em mais de uma classe de material, ou seja, destes, 5 trabalhos realizaram ensaios *HV* tanto em materiais metálicos quanto cerâmicos, 4 em materiais cerâmicos e poliméricos, 2 em materiais poliméricos e compósitos e 1 trabalho em materiais cerâmicos e compósitos.

Um próximo passo consiste em realizar um aprofundamento dessa análise bibliométrica, para identificar à forma como o método de dureza Vickers (*HV*) vem sendo empregado em pesquisas experimentais ou teóricas, às instituições de ensino superior ou institutos de pesquisa e os respectivos pesquisadores envolvidos, e por fim, a análise de citações dos artigos científicos.

7 CONCLUSÃO

A definição matemática da dureza Vickers é amplamente conhecida e utilizada pela indústria e pesquisadores. Visto que ela é exposta de forma resumida na literatura, neste trabalho foi apresentada a dedução matemática da equação que expressa a magnitude da dureza Vickers, sendo que este método é utilizado na área de Odontologia, informação demonstrada pelos artigos científicos que já foram publicados.

Para complementar o embasamento teórico descrito por artigos e livros, foi realizado uma revisão dos requisitos previstos em normas técnicas para a realização de ensaios *HV*.

Em relação à análise bibliométrica, verificou-se que o método de dureza Vickers é amplamente utilizado na caracterização mecânica de materiais. As tendências da pesquisa realizada evidenciam o aumento do interesse de pesquisas na área.

Além disso, percebeu-se que no Brasil a maior aplicação do ensaio de dureza Vickers é em materiais metálicos, concentrando 55,45% dos resultados. Em seguida, apresentam-se as aplicações em materiais cerâmicos, aproximadamente 18,96% dos resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pró-Reitora de Pesquisa (Propesq), da Universidade Federal Santa Catarina (UFSC), que por meio da Chamada Propesq 01/2018 de Apoio à Infraestrutura de Pesquisa, um microdurômetro foi adquirido, o que nos motivou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

American Society for Testing and Materials. **C1327-15**: Standard test method for vickers indentation hardness of advanced ceramics. ASTM International, West Conshohocken, 2015.

American Society for Testing and Materials. **E92-17**: Standard test methods for vickers hardness and knoop hardness of metallic materials. ASTM International, West Conshohocken, 2017a.

American Society for Testing and Materials. **E384-17**: Standard test method for microindentation hardness of materials. ASTM International, West Conshohocken, 2017b.

Araújo, C. A. **Bibliometria**: Evolução histórica e questões atuais. Em *Questão*, v. 12, p. 11 – 32, 2006.

Ashby, M. F.; Jones, D. R. **Engenharia de materiais**: Uma introdução a propriedades, aplicações e projeto. [S.I.] Elsevier, Rio de Janeiro, 2007.

Askeland, D. R.; Phulé, P. P. **Ciência e engenharia dos materiais**. [S.I.] Cengage Learning, São Paulo, 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 6507-1**: Materiais metálicos - Ensaio de dureza Vickers - Parte 1: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019a.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 6507-2**: Materiais metálicos - Ensaio de dureza Vickers - Parte 2: Verificação e calibração de máquinas de ensaio. Rio de Janeiro, 2019b.

Callister, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais**: Uma introdução. [S.I.]. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2008.

Garcia, A.; Spim, J. A.; Santos, C. A. **Ensaio dos materiais**. [S.I.]. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 2000.

Grellmann, W.; Seidler, S. **Polymer Testing (Second Edition)**. Grellmann, W.; Seidler, S. Hanser, Munique, 2013.

Maharjan, N.; Zhou, W.; Wu, N. Direct laser hardening of aisi 1020 steel undercontrolled gas atmosphere. **Surface and Coatings Technology**, v. 385, p. 125399, 2020.

Mccolm, I. J. A. **Ceramic Hardness**. [S.I.]. Plenum Press, New York, 1990.

Michél, M. D.; Mikowski, A.; Lepienski, C. M.; Foerster, C. E.; Serbena, F. C. High temperature microhardness of soda-lime glass. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 348, p. 131- 138, 2004.

Price, D. S. **O desenvolvimento da ciência**: análise histórica, filosófica, sociológica e econômica. [S.I.] Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1976.

Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. Lima, L. B. Penso Editora LTDA., Porto Alegre, 2013.

Scientific Electronic Library Online (Org.). **SciELO**. Disponível em: <https://search.scielo.org/?fb=&lang=pt&count=15&from=1&output=site&sort=&format=summary&page=1&q=%22Vickers%22+AND+%22hardness%22&where=&filter%5Bin%5D%5B%5D=scl>. Acesso em: 14 de janeiro de 2021.

Silva, M. R.; Hayashi, C. R. M.; Hayashi, M. C. P. I. **Análise bibliométrica e cientométrica**: Desafios para especialistas que atuam no campo. *INCID: Revista da Ciência da Informação e Documentação*, v. 2, p. 110 – 129, 2011.

Smith, R. L.; Sandland, G. An accurate method of determining the hardness of metals, with particular reference to those of a high degree of hardness. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, v. 102, p. 19, 1922.

Souza, S. A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**: Fundamentos teóricos e práticos. [S.I.]. Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1982.

Tabor, D. The hardness of solids. **Reviews of Physics in Technology**. v. 1, n. 3, p. 145 – 149, 1970.