



ANÁLISE METROLÓGICA DA INFLUÊNCIA DA MICROSCOPIA ÓTICA SOBRE A DUREZA BRINELL DE MATERIAIS

*Jorge Trota Filho*¹, *Sérgio Pinheiro de Oliveira*², *Renato Reis Machado*³, *Celso Ricardo da Silva Azeredo*⁴.

¹ INMETRO, Duque de Caxias, Brasil, jtfilho@inmetro.gov.br

² INMETRO, Duque de Caxias, Brasil, spoliveira@inmetro.gov.br

³ INMETRO, Duque de Caxias, Brasil, rrmachado@inmetro.gov.br

⁴ INMETRO, Duque de Caxias, Brasil, crazeredo@inmetro.gov.br

Resumo: Este trabalho tem o objetivo de relacionar a influência do nível de iluminação do sistema de microscopia ótica sobre o valor medido de dureza Brinell de materiais metálicos. Os blocos-padrão metálicos de dureza Brinell selecionados tiveram os valores nominais de dureza de 135 HBW 2,5/187,5; 254 HBW 2,5/187,5; e 596 HBW 2,5/187,5; representando metais das escalas de dureza nas faixas de baixa, média e alta dureza, respectivamente. Para a realização dos ensaios com confiabilidade metrológica foi utilizada a Máquina de Padronização Primária de Dureza do INMETRO (MPPD), máquina de medir dureza de referência do Brasil, onde podem ser realizadas calibrações das escalas de dureza Brinell, Rockwell e Vickers. Para garantir os melhores resultados possíveis nas medições de dureza foi utilizado um penetrador de dureza Brinell de referência. As medições dos diâmetros das impressões foram realizadas no Sistema de Referência Metrológica para as Escalas de Dureza Brinell e Vickers (Gal-Vision). Este sistema é constituído de um microscópio ótico e uma câmera CCD de alta resolução, ao passo que o software responsável pela medição das diagonais da impressão Brinell é sensível aos tons de cinza da imagem capturada pela câmera. Conclui-se que o nível de iluminação que é fornecido à imagem projetada pelo microscópio ótico é de fundamental importância para o cálculo de dureza Brinell.

Palavras chave: Dureza Brinell; Microscopia Ótica; Materiais Metálicos.

1. INTRODUÇÃO

A propriedade mecânica Dureza é definida como a resistência à deformação plástica permanente, ao risco ou à penetração de um material mais duro em outro mais macio. É também a propriedade mecânica mais conhecida e disseminada dada a sua importância essencial tanto na produção como no desempenho em serviço dos itens produzidos em praticamente todos os segmentos industriais – em especial nos setores metal-mecânico, siderúrgico, metalúrgico, automobilístico, aeroespacial e de máquinas e ferramentas.

A medição de dureza é utilizada diversas vezes na linha de produção com o intuito de garantir a qualidade de diversos itens produzidos, através de amostragens no meio de processos produtivos e nos ensaios de recebimento de materiais. A medição da Dureza é a mais avaliada nas

atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) empreendidas em universidades, centros de P&D e indústrias. Os resultados de dureza são também utilizados durante os projetos de desenvolvimento de novos materiais, produtos, processos, métodos e tecnologias inovadoras. As escalas de dureza por penetração mais utilizadas são a Brinell, a Vickers e a Rockwell [1].

A grandeza Dureza é também alvo de ações de normalização através de normas internacionais emitidas pela ISO e pela ASTM, pelas normas brasileiras (ABNT/NBR) e regionais (Mercosul/NM), assim como através do Guia de Calibração em Dureza da EURAMET [2], European Association of National Metrology Institutes, órgão que reúne todos os INMs (institutos nacionais de metrologia) da Europa, o qual estabelece as práticas recomendadas para a obtenção da incerteza de medição em ensaios de dureza.

As informações contidas nos parágrafos anteriores destacam a importância da confiabilidade do resultado das medições, referenciadas na metrologia como confiabilidade metrológica. Esta característica implica que cada medição deve estar relacionada a referências estabelecidas, ou seja, possuir o que se denomina de rastreabilidade a padrões nacionais ou internacionais através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo, devido à aleatoriedade (variabilidade) inerente a qualquer medição (já que há várias causas para isso), as incertezas de medição calculadas. A partir daí, todas as suas respectivas fontes/componentes devem ter as suas incertezas de medição determinadas.

Logo, se não houver hiatos na cadeia de rastreabilidade, uma medição de dureza num durômetro (máquina de medir dureza) instalado numa indústria fornece resultados confiáveis e rastreáveis ao padrão primário de dureza do país (no Brasil é o padrão nacional MPPD do INMETRO) e, indiretamente, aos padrões internacionais de outros INMs com os quais o INMETRO se compara horizontalmente de maneira regular – sob a égide do BIPM (Bureau Internacional de Pesos e Medidas), do Sistema Interamericano de Metrologia (SIM) ou do Sistema Sul-Americano de Metrologia (SURAMET). Objetivamente, a confiabilidade metrológica é disseminada do nível primário (“Padrões Nacionais”) para os demais através das boas práticas laboratoriais recomendadas de acordo com procedimentos de referência previstos nas normas de dureza internacionais pertinentes. E a padronização em dureza é feita em relação à profundidade de penetração, no caso da

escala Rockwell, ou à dimensão da impressão resultante no caso das escalas Brinell (impressão circular) e Vickers (impressão quadrada).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização das medidas de dureza com confiabilidade metrológica foram utilizados os padrões metrológicos Máquina de Padronização Primária de Dureza (MPPD) – que permite a realização das escalas de dureza Brinell, Rockwell e Vickers (Figura 1A) – e o Sistema de Referência Metrológica para as Escalas de Dureza Brinell e Vickers (Gal-Vision), Figura 1B. No sistema de análise de imagem da Figura 1B foram desenvolvidos novos padrões de imagens para permitir a determinação dos diâmetros da impressão Brinell, de modo que as medições e calibrações de dureza possam ser realizadas com a maior qualidade metrológica.

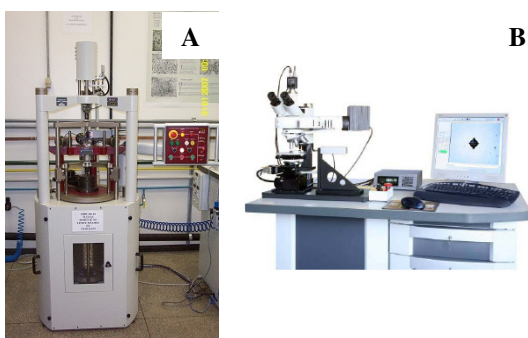


Fig. 1. Sistema Primário das Escalas de Dureza Rockwell, Brinell e Vickers do Inmetro: (A) Máquina de Padronização Primária de Dureza; (B) Sistema Metrológico de Medição (Gal-Vision) dos diâmetros e diagonais para as Escalas de Dureza Brinell e Vickers, respectivamente.

No microscópio do sistema Gal-Vision foram utilizadas sequencialmente as objetivas de magnificação/abertura numérica 2,5x/0,07, 5x/0,12, 10x/0,25 e 20x/0,40 para o ajuste da impressão Brinell, possibilitando, assim, a medição das diagonais. A dureza Brinell é calculada de acordo com a equação (1):

$$HBW = 0,102 \times \frac{2F}{\pi D^2 \cdot (1 - \sqrt{1 - d^2 / D^2})} \quad (1)$$

onde:

HBW – é o valor de dureza Brinell;

F – é a força do ensaio em newtons;

d – é a média aritmética dos diâmetros da impressão em milímetros;

D – é o diâmetro da esfera em milímetros.

Para analisar a influência da quantidade de iluminação sobre os resultados nas faixas de baixa, média e alta dureza foram utilizados, respectivamente, blocos-padrão de dureza de 135 HBW 2,5/187,5; 254 HBW 2,5/187,5; e 596 HBW 2,5/187,5. Além disso, foram realizadas medições das diagonais ora com as luzes do laboratório ligadas ora desligadas. Foram também utilizados durante as medições incrementos de iluminação do sistema de microscopia ótica do Gal-Vision que variaram de 1 (intensidade de iluminação zero) a 7 (intensidade de iluminação máxima).

Neste trabalho foram utilizadas as normas de dureza internacionais ABNT NBR NM ISO 6506-2:2008 [3] e 6506-3:2008 [4], que fornecem os mais importantes parâmetros do processo de medição que influenciam diretamente no resultado da calibração de dureza Brinell.

Para os cálculos das incertezas relativas à média aritmética dos diâmetros da impressão (“diâmetro médio da impressão”) nas faixas de baixa, média e alta dureza Brinell, foram considerados os seguintes parâmetros: os valores das diagonais das impressões, a luminosidade do sistema ótico, a luminosidade do ambiente e os valores de dureza Brinell obtidos a partir dos ensaios.

3. RESULTADOS

A Figura 2 mostra o erro percentual (Erro %) como função da influência do nível de iluminação do sistema ótico e da iluminação do laboratório para bloco de dureza Brinell de 135 HBW 2,5/187,5.

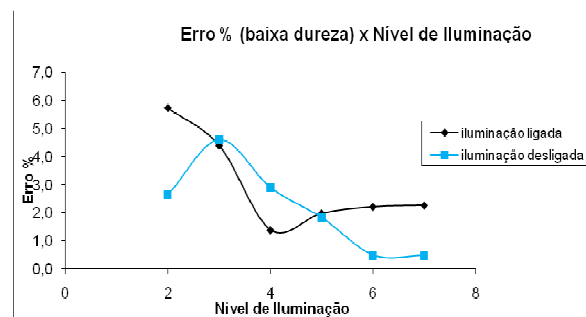


Fig. 2. Erro percentual em função da influência do nível de iluminação do sistema ótico e da iluminação do laboratório na determinação da dureza Brinell de um bloco com valor de referência de 135 HBW 2,5/187,5.

A Figura 2 mostra uma dependência acentuada do nível de iluminação e da iluminação do laboratório em função do erro percentual, onde se observa que os menores valores de Erro% ocorrem para os níveis de iluminação 6 e 7 e, também, quando a iluminação do laboratório está desligada.

Na Figura 3 é mostrado o comportamento do erro percentual em função do nível de iluminação para as medições realizadas em um bloco padrão de média dureza 254 HBW 2,5/187,5 com o sistema de iluminação do laboratório ora ligado ora desligado.

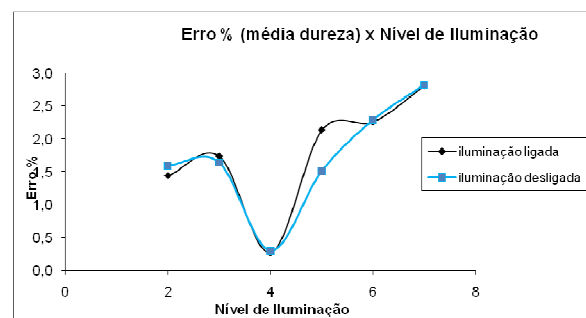


Fig. 3. Erro percentual em função da influência do nível de iluminação do sistema ótico e da iluminação do laboratório na determinação da dureza Brinell de um bloco com valor de referência de 254 HBW 2,5/187,5.

É possível observar que no gráfico da Figura 3 há um comportamento semelhante entre as curvas quando o sistema de iluminação do laboratório está ligado ou desligado. Consta-se que o ponto onde o erro percentual é mínimo apresentou 4 como nível de iluminação do Gal-Vision em ambas as situações. Assim, independentemente do sistema de iluminação do laboratório estar ligado ou desligado, o nível de iluminação do sistema Gal-Vision ideal encontrado para realização de medições de média dureza Brinell foi o 4.

Observa-se na Figura 4 que a variação do erro percentual em função do nível de iluminação do sistema Galvision se comporta de forma bem diferente em relação aos casos observados nas Figuras 2 e 3, referentes aos blocos de dureza 135 e 254 HBW 2,5/187,5, respectivamente.

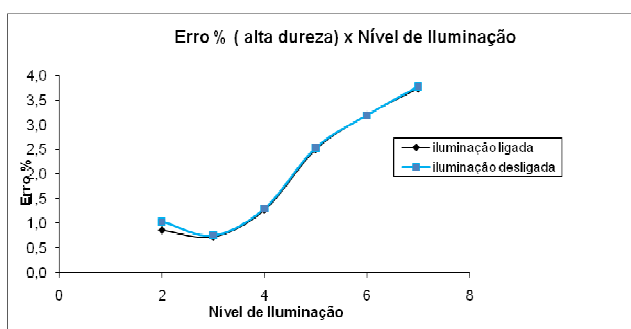


Fig. 4. Erro percentual em função da influência do nível de iluminação do sistema ótico e da iluminação do laboratório na determinação da dureza Brinell de um bloco com valor de referência de 596 BW 2,5/187,5.

Constata-se que não existe uma diferença apreciável em relação ao comportamento do erro percentual em função do nível de iluminação do Gal-Vision para a medição de um bloco padrão de dureza Brinell (596 HBW 2,5/187,5) independentemente se o sistema de iluminação do laboratório estava ligado ou não. Entretanto, observa-se que o gráfico indica o nível 3 como nível de iluminação do Gal-Vision mais adequado para a realização da medição.

Para garantir que a escolha metrologicamente correta dos níveis de iluminação do Gal-Vision, e se o sistema de iluminação do laboratório será ligado ou não durante a medição de blocos padrão de baixa, média e alta dureza Brinell, realizou-se uma avaliação das incertezas em cada uma das medições envolvidas.

Para as medições realizadas no bloco padrão de baixa dureza, a Figura 5 contém os valores de incerteza relacionada à repetitividade em função do nível de iluminação do Gal-Vision (ora com as luzes do laboratório ligadas ora desligadas).

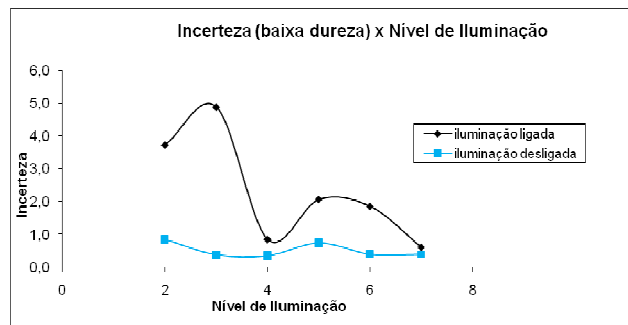


Fig. 5. Incerteza de medição em função da influência do nível de iluminação do sistema ótico e da iluminação do laboratório na determinação da incerteza em dureza Brinell de um bloco com valor de referência de 135 HBW 2,5/187,5.

Analisando a Figura 5 é possível verificar que quando o sistema de iluminação do laboratório está ligado ocorre uma intensa variação na incerteza de medição, ao passo que as incertezas se mantêm estáveis quando o sistema de iluminação do laboratório está desligado. Desta forma, constata-se que há uma interferência prejudicial do sistema de iluminação do laboratório sobre a qualidade metrológica do resultado. A explicação para isso é que há uma oscilação na incerteza em dureza Brinell à medida que o nível de iluminação do Gal-Vision aumenta.

Na Figura 6 observa-se o comportamento da incerteza em função do nível de iluminação do Gal-Vision para medições em um bloco padrão de média dureza Brinell. Novamente são avaliados os efeitos da presença ou não do sistema de iluminação do laboratório.

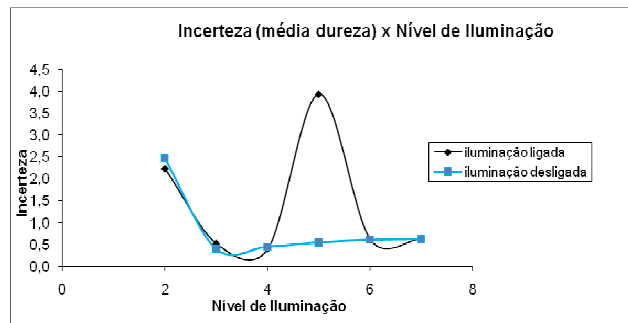


Fig. 6. Incerteza de medição em função da influência do nível de iluminação do sistema ótico e da iluminação do laboratório na determinação da incerteza em dureza Brinell de um bloco com valor de referência de 254 HBW 2,5/187,5.

Analisando-se a Figura 6, entre os níveis de iluminação do Gal-Vision 2 e 4 o comportamento da incerteza tanto com o sistema de iluminação do laboratório ligado como desligado é muito semelhante. Ao atingir o nível 5 de iluminação do Gal-Vision, o sistema de iluminação do laboratório interfere negativamente na medição aumentando a incerteza em 800%. Já ao atingir os níveis 6 e 7 o comportamento da incerteza novamente não sofre alterações devido ao sistema de iluminação do laboratório.

A Figura 7 mostra o caso das medições realizadas no bloco padrão de alta dureza Brinell, onde observa-se uma influência reduzida do sistema de iluminação do laboratório sobre a incerteza de medição.

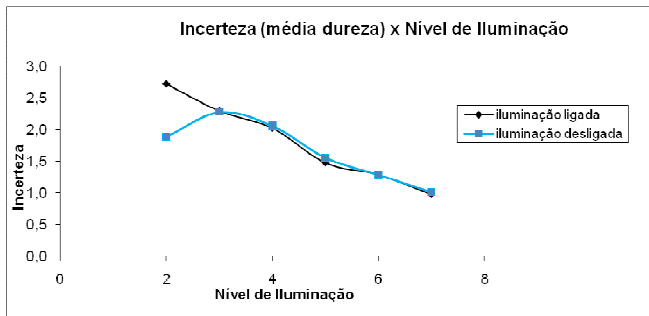


Fig. 7. Incerteza de medição em função da influência do nível de iluminação do sistema óptico e da iluminação do laboratório na determinação da incerteza em dureza Brinell de um bloco com valor de referência de 254 HBW 2,5/187,5.

Nota-se na Figura 7 que a variação da incerteza é inversamente proporcional ao aumento do nível de iluminação do Gal-Vision. Além disso, se observa também que existe uma semelhança no comportamento da incerteza de medição quando o sistema de iluminação do laboratório está ligado ou desligado.

A partir dos resultados das Figuras 2 a 7 é apresentada abaixo a Tabela 1, que mostra as condições ideais para medição dos blocos padrão de baixa, média e alta dureza Brinell.

Dureza Brinell	Nível de Iluminação do Gal-Vision	Sist. de Iluminação do Laboratório	Incerteza padrão de medição
Baixa	6 ou 7	Desligada	0,40
Média	4	Ligada	0,39
Alta	3	Desligada ou ligada	2,3

Diante desses resultados, é possível concluir que como a dureza Brinell é fortemente dependente da leitura dos diâmetros das impressões, todos os sistemas de iluminação do equipamento de medição ou do ambiente externo influenciam de forma significativa os resultados das medições.

4. CONCLUSÃO

Através deste estudo foi possível constatar que os níveis de iluminação e a iluminação do laboratório são determinantes para medição mais precisa e exata de dureza Brinell.

Com esta análise foi possível determinar quais são as condições ótimas em relação ao nível de iluminação do sistema Gal-Vision e da necessidade ou não do sistema de iluminação do laboratório estar ligado ou desligado durante o processo de calibração de blocos de dureza Brinell.

Assim, fica aprimorado o sistema de disseminação de rastreabilidade da escala de dureza Brinell no Brasil para as indústrias, centros de pesquisa e desenvolvimento e universidades.

AGRADECIMENTOS

À FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) pela bolsa de apoio à pesquisa concedida ao técnico Celso Ricardo da Silva Azeredo, assim como também ao Inmetro, pelo apoio a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] SOUZA, S.A. *Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos: Fundamentos Teóricos e Práticos*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2000.
- [2] *Calibration Guide EURAMET/cg-16/v.01: Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurements*. Braunschweig/Alemanha: European Association of National Metrology Institutes, 2007.
- [3] *Norma ABNT NBR NM ISO 6506-2:2008 "Materiais Metálicos – Ensaio de Dureza Vickers – Parte 2: Verificação e Calibração de Máquinas de Ensaio"*. São Paulo e Rio de Janeiro/Brasil: ABNT, 2008.
- [4] *Norma ABNT NBR NM ISO 6506-3:2008 "Materiais Metálicos – Ensaio de Dureza Brinell – Parte 3: Calibração de Blocos de Referência"*. São Paulo e Rio de Janeiro/Brasil: ABNT, 2008.