

## **DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO DE DUREZA EM METAIS COM VISTA À LITERATURA E NORMA APLICADA NA ÁREA**

**F. R. S. Masieiro**

– Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – CEFET-RN  
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.000-000 Natal-RN  
E-mail: [flaviamasieiro@yahoo.com.br](mailto:flaviamasieiro@yahoo.com.br)

**J.S.Freitas**

– Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – CEFET-RN  
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.000-000 Natal-RN  
E-mail: [cn\\_sfreitas@yahoo.com.br](mailto:cn_sfreitas@yahoo.com.br)

**R.C.T.S. Felipe**

– Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – CEFET-RN  
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.000-000 Natal-RN  
E-mail: [rcfelipe@cefetrn.br](mailto:rcfelipe@cefetrn.br)

**R.N.B. Felipe**

– Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – CEFET-RN  
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.000-000 Natal-RN  
E-mail: [nonatofelipe@cefetrn.br](mailto:nonatofelipe@cefetrn.br)

### **RESUMO**

Para a realização de ensaios em laboratório é importante que se tenha muito claro a relevância da utilização de padrões e normas técnicas para dá confiabilidade metrológica aos seus resultados. Além disso, que os padrões utilizados tenham rastreabilidade metrológica e se for utilizar equipamentos estes estejam devidamente calibrados e com os seus certificados validados. Acrescentando a isso, para uma maior segurança destes ensaios é importante que se tenham implantadas em seu laboratório não só a norma NBR ISO/IEC 17025 que trata dos Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaios e Calibração, como também toda a equipe envolvida na execução dos ensaios estejam devidamente capacitadas para tal função. Desta forma, este trabalho tem como contribuição o detalhamento do procedimento de medição de dureza em metais com base na literatura e norma disponível como a NBR ISO/IEC e a norma NBR NM 146-1 que trata de Materiais Metálicos – Dureza Rockwell – Parte 1: Medição de Dureza Rockwell ; além disso, uma aplicação prática mediante procedimento ora desenvolvido, servindo como material para pesquisadores e técnicos que necessitam executar este tipo de ensaio e que tenham interesse pela área de materiais; já que, apesar de ser um ensaio conhecido às normas e literatura que abordam este tema são pouco claras. Para a execução do ensaio serão escolhidos quatro materiais amplamente utilizados no mercado como alumínio, cobre, aço 1020 e aço inoxidável, onde serão confeccionados corpos de prova para cada tipo e submetidos ao ensaio de dureza Rockwell segundo a norma NBR- NM 146-1/1998.

**PALAVRAS-CHAVE:** Procedimento de medição, dureza, propriedade mecânica, materiais metálicos.

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo o Vocabulário Internacional de Medição (VIM) o mesmo define procedimento de medição como um conjunto de operações, descritas especificamente, usadas na execução de medições particulares, de acordo com um dado método. Desta forma, um procedimento de medição normalmente possui detalhes suficientes para poder permitir que o operador do equipamento ou instrumento execute a medição de forma correta. Logo, este procedimento deve ser claro e que seja possível a orientação técnica detalhada, além disso ser padronizado. Para tanto se faz necessário que se tenha abordado dados como objetivo, aplicação, documento utilizado como referência, terminologia, equipamento e condições ambientais, cuidados, metodologia, determinação e análise dos resultados, incerteza da medição entre outros itens pertinentes ao procedimento.

Como este procedimento é para a realização de ensaio de dureza Rockwell, se faz necessário uma simples abordagem sobre esta propriedade. O ensaio de dureza Rockwell que leva o nome do seu criador, é hoje o processo mais utilizado internacionalmente sendo o mesmo de rápida e fácil execução, pequeno tamanho da impressão e facilidade em detectar pequenas diferenças de durezas. Este tipo de ensaio utiliza-se da profundidade da impressão causada por um penetrador sob a ação de uma carga como indicador da medida de dureza, e não há relação com a área da impressão. Neste método, a carga do ensaio é aplicada em etapas, ou seja, primeiro se aplica uma pré-carga, para garantir um contato firme entre o penetrador e o material ensaiado, e depois se aplica a carga do ensaio propriamente dita, onde a dureza pode ser classificada como comum ou superficial, dependendo do penetrador e da pré-carga e carga aplicadas., que , se faz necessário uma pequena abordagem de dureza para um maior entendimento, desta forma, segundo a literatura, a dureza de um material é um conceito complexo de se definir, originando assim diversas interpretações. As definições encontradas na literatura não caracterizam o que é dureza para todas as situações, pois esta assume um significado diferente conforme o contexto em que é empregada. Na área industrial, por exemplo, considera-se dureza como a resistência à deformação plástica permanente ou ainda a resistência à penetração de um material duro no outro.

No entanto, quando trabalhamos com a determinação de propriedades ou até mesmo caracterizando determinados materiais, para que estes resultados tenham uma determinada confiabilidade, são necessários que se tenham desenvolvidos métodos e procedimentos de ensaios baseados em normas e/ou literatura disponível; e que os equipamentos utilizados para tal fim sejam devidamente calibrados e/ou os padrões utilizados tenham rastreabilidade metrológica, conferindo assim uma menor incerteza da medição, no resultado final. Desta forma, este trabalho visa o desenvolvimento do procedimento de execução de ensaio de dureza, baseado na norma de dureza NBR NM 146-1 e na literatura disponível, bem como, execução do respectivo ensaio de dureza nos seguintes metais: aço 1020, aço inoxidável, alumínio e cobre como aplicação deste procedimento.

## **2. METODOLOGIA**

A metodologia adotada para elaboração do procedimento de medição para avaliação da dureza Rockwell foi baseada na norma NBR ISO/IEC 17025 que trata dos Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração, e na norma de dureza NBR NM 146-1 que trata de Materiais Metálicos – Dureza Rockwell – Parte 1: Medição de Dureza Rockwell, além da bibliografia disponível na área.

Desta forma foram definidos os seguintes itens para elaboração deste procedimento: objetivo, campo de aplicação, documentos de referência, terminologia, equipamentos e materiais, condições ambientais, precauções e preparação, método e, registros, determinação e análise dos resultados, incerteza da medição e apresentação dos resultados.

Depois de desenvolvido o procedimento, foram realizados ensaios de dureza para verificar a utilização deste respectivo procedimento. Depois da elaboração deste procedimento se obteve vários corpos de prova de aço 1020, aço inoxidável, alumínio e cobre como aplicação.

## **3. RESULTADOS**

Neste item, serão discutidos todos os itens necessários para a elaboração do procedimento.

### 3.1. Objetivo

Este procedimento de medição tem por objetivo orientar o profissional responsável na execução do ensaio para determinação de dureza Rockwell norma e Rockwell superficial em materiais metálicos e não metálicos utilizados na indústria, desde a confecção dos corpos de prova até a emissão dos resultados dos ensaios.

### 3.2. Aplicação

Este procedimento aplica-se para a determinação da dureza de materiais metálicos e não metálicos, utilizando-se o durômetro Rockwell Durotwin – 963 – 102 R.

### 3.3. Documentos de Referência

Os documentos utilizados como referência para a elaboração deste procedimento serão mostrados a seguir:

- Guia Para a Expressão da Incerteza de Medição. 3º ed. Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, 2003.
- Norma NBR ISO/IEC 17025. Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração (Janeiro/2001).
- INMETRO. Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia. 2º ed. Brasília: SENAI/DN, 2000
- Norma NBR NM 146 - 1. Materiais Metálicos – --Materiais:metálicos – Dureza Rockwel – Parte 1: Medição da dureza Rockwell (escalas A, B, C, D,E, F,G, H e K) e Rockwell superficial. (escalas 15N, 30 N, 45 N, 15T,30Te 45T)
- LIRA, F. A. Metrologia na Indústria. São Paulo: Érica, 2001.

### 3.4. Unidades Utilizadas

As unidades das grandezas utilizadas na elaboração deste procedimento foram:

- Dureza: Rockwell (HR)
- Temperatura: Celsius (°C).
- Comprimento: Milímetro (mm)

### 3.5. Condições Ambientais

A temperatura do ambiente para a execução do ensaio deve estar compreendida entre 10 °C a 35 °C. Medições realizadas em condições controladas deverão ser executadas a uma temperatura de  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

### 3.6. Materiais e Equipamentos

- 3.6.1 Materiais: O corpo de prova a ser submetido ao ensaio de dureza deve ser identificado e registrado em uma planilha durante o recebimento. A espessura do corpo-de-prova deverá seguir a norma NBR NM 146 – 1 nos anexos A e B.
- 3.6.2 Equipamento: O desenvolvimento deste procedimento deverá ser utilizado para o Durômetro Rockwell Durotwin – 963 – 102 R. Ver detalhe dos respectivo equipamento na Tabela I e na Figura 1.

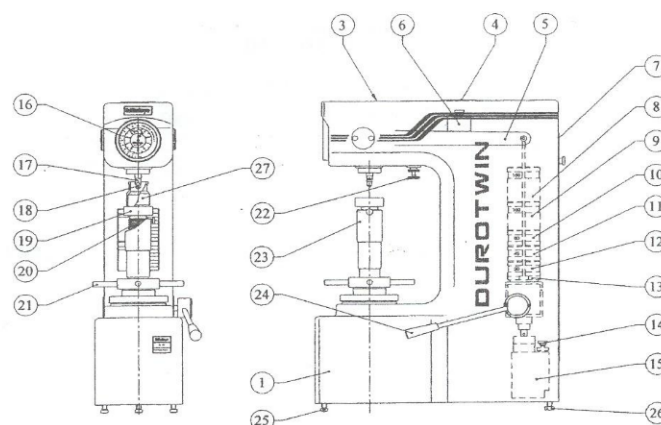


Figura 1 – Equipamento Utilizado. (Manual do Usuário).

Tabela I – Dados do Equipamento. (Manual do Usuário).

1	Corpo Principal	16	Relógio comparador
2		17	Porta – penetrador
3	Capa Superior	18	Penetrador de diamante
4	Tampa do peso adicional	19	Batente plano
5	Braço	20	Fuso principal
6	Peso adicional	21	Haste de volume
7	Tampa Traseira	22	Parafuso de regulagem do
8	Peso (150)	23	braço
9	Peso (100)	24	Capa do fuso
10	Peso (60)	25	Alavanca do amortecedor
11	Peso (45)	26	Parafuso nivelador
12	Peso (30)	27	Parafuso de apoio
13	Suporte Porta - pesos (15)		Bucha de proteção
14	Parafuso de ajuste do amortecedor		
15	Amortecedor hidráulico		

Cuidados Referentes ao Equipamento:

- Este equipamento deverá ser instalado sobre uma mesa de apoio firme e livre de vibrações.
- Deverá ser nivelado.

### 3.7. Precauções e Preparação

#### 3.7.1. Referentes ao corpo de prova:

- O corpo de prova deverá ter uma superfície plana e lisa, isenta de materiais estranhos como óxidos, em particular, completamente livre de lubrificantes, exceto especificação em contrário em produtos ou materiais normalizados.
- A preparação deverá ser executada de tal forma a minimizar qualquer alteração na dureza superficial, devida ao calor ou trabalho a frio, por exemplo. Isso deverá ser levado em conta particularmente no caso de pequenas profundidades de penetração.
- Após a medição, nenhuma deformação deverá ser visível na superfície do corpo-de-prova, oposta à da penetração.

#### 3.7.2. Referentes ao equipamento:

- Observe se a máquina está nivelada

- Limpe cuidadosamente o penetrador, porta-penetrador, batente, fuso principal e padrão de dureza, usando um pano macio e seco (se necessário usar um solvente). Isso assegurará medições com resultados mais precisos.
- Observe também se não há nenhum ressalto ocasionado por batidas ou por materiais estranhos na face de apoio do fuso principal, na face do batente plano, e na face de apoio do padrão de dureza.
- Encaixe o batente plano na parte superior do fuso principal.
- Selecione os pesos apropriados de acordo com a escala e o penetrador a serem utilizados.
- O corpo-de-prova deverá ser colocado em um suporte rígido e apoiado de maneira que a superfície a ser penetrada esteja em um plano normal ao eixo do penetrador e à linha de ação da força de penetração.

OBS: Produtos de forma cilíndrica deverão ser convenientemente apoiados, por exemplo, em blocos em “V” de centragem em aço, com dureza mínima de 60 HRC. Atenção especial deve ser dada ao correto assentamento, centragem e alinhamento do penetrador e do corpo-de-prova, centragem dos blocos em “V” e do porta penetrador da máquina de medir, visto que qualquer desalinhamento pode fornecer um resultado incorreto.

- O equipamento tem que está livre de vibrações

Para a execução deste ensaio o responsável pela operação do mesmo deverá utilizar luvas para manusear os corpos de prova.

### 3.8. Metodologia de Ensaio

Neste item deverá a ser definido qual o tipo de penetrador a ser utilizado em função do tipo de material a ser avaliado, conforme Tabela II abaixo:

Tabela II - Escalas de Dureza Rockwell. (Lira, 2001 e Norma NBR NM 146 – 1, 1998).

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
F	Esfera 1,588 mm	60	Vermelha	Metais moles, ligas de cobre
G	Esfera de 1,588 mm	150	Vermelha	Bronze, fósforo, ligas de berílio, FoFo maleável

Selecionar o tipo de dureza a ser medida, se dureza Rockwell Normal ou Superficial.

Para a dureza Rockwell Normal devem ser seguidos os seguintes passos:

- Colocar o peso adicional equivalente a 7 Kgf na haste sobre o braço da alavanca de peso de pré-cargas. Feito isso, tem-se a pré-carga total de 10 Kgf utilizadas nestas escalas;
- Colocar os pesos na sequência do menor para o maior. Os pesos 30 Kgf, 45 Kgf, 60 Kgf, 100 Kgf, 150 Kgf, de acordo com a escala a ser utilizada;
- Colocar o penetrador. A escolha do penetrador será em função da escala a ser utilizada. O porta-penetrador possui um furo com uma trava para encaixe do penetrador. Ao encaixá-lo, gire o penetrador em aproximadamente 90° para obter o perfeito assentamento;
- Colocar a peça sobre o batente, e lentamente com as duas mãos gire o volante no sentido horário (UP), de tal forma que a peça encoste no penetrador. Evite um contato violento.
- Continuar girando lentamente fazendo com que o ponteiro menor (de forma curvilíneo), fique dentro da marca (SET). O ponteiro maior tem ZERO automático. Não há necessidade de zerar;

- Observar se a alavanca de operação está na posição INFERIOR. Suavemente acione a alavanca para cima. Note que a alavanca continuará o movimento por si mesmo. Observe ainda que por algum tempo o ponteiro maior estará decrescendo no sentido anti-horário e se estabilizará quando a alavanca de operação alcançar a posição SUPERIOR.
- Abaixar a alavanca de operação suavemente de volta à posição INFERIOR tão logo atinja a posição SUPERIOR. A leitura se fará pelo ponteiro maior, na escala interna de cor preta ou na cor vermelha, dependendo da escala escolhida, conforme tabela I.

Para a dureza Rockwell Superficial devem ser seguidos os seguintes passos:

- Não colocar o peso adicional. Para este caso teremos uma pré-carga equivalente a 7 Kgf na haste sobre o braço da alavanca.
- Colocar os pesos na sequência do menor para o maior. Os pesos 30 Kgf, 45 Kgf, de acordo com a escala a ser definida na tabela I.
- Colocar o penetrador. A escolha do penetrador será em função da escala a ser utilizada. O porta-penetrador possui um furo com uma trava para encaixe do penetrador. Ao encaixá-lo, gire o penetrador em aproximadamente 90° para obter o perfeito assentamento;
- Colocar a peça sobre o batente, e lentamente com as duas mãos gire o volante no sentido horário (UP), de tal forma que a peça encoste no penetrador. Evite um contato violento.
- Continuar girando lentamente fazendo com que o ponteiro menor (de forma curvilíneo), fique dentro da marca (SET). O ponteiro maior tem ZERO automático. Não há necessidade de zerar;
- Observar se a alavanca de operação está na posição INFERIOR. Suavemente acione a alavanca para cima. Note que a alavanca continuará o movimento por si mesmo. Observe ainda que por algum tempo o ponteiro maior estará decrescendo no sentido anti-horário e se estabilizará quando a alavanca de operação alcançar a posição SUPERIOR.
- Abaixar a alavanca de operação suavemente de volta à posição INFERIOR tão logo atinja a posição SUPERIOR. A leitura se fará pelo ponteiro maior, na gravação externa de cor preta para as escalas N e T.

Observações Referentes ao Ensaio

- Deve-se realizar o ensaio em materiais desconhecidos partindo de escalas mais altas para evitar danos no penetrador, seguindo posteriormente.
- O tempo de aplicação da pré-carga deverá ser menor que 3 segundos, sendo recomendados períodos de 2 a 8 segundos para a aplicação da carga total, dependendo do material.
- O número de dureza Rockwell é derivado da profundidade permanente de penetração  $h$  e é normalmente lido diretamente no instrumento indicador.
- Após cada troca, remoção ou substituição do penetrador ou do suporte do corpo-de-prova deverá ser verificado que o novo penetrador ou novo suporte do corpo-de-prova esteja corretamente montado em seu alojamento. As duas primeiras impressões após cada uma das trocas deverão ser desprezadas.

### 3.9. Determinação dos Resultados

Serão executados para cada material cinco ensaios e retirada uma média do valor; obtendo desta forma um valor médio. Estes resultados serão registrados em planilha Excel, na qual também constará os valores da incerteza dos resultados obtidos utilizando para isso o Guia Para a Expressão da Incerteza de Medição. 3º ed. Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, 2003.

### 3.10. Fontes de Incertezas

No processo de determinação da dureza Rockwell foram consideradas as várias contribuições das grandezas de influencia, no entanto, cabe ao responsável pelo ensaio conhecer bem estas grandezas e tentar minimizá-las e mensurá-las. Dentre as inúmeras grandezas existentes podemos destacar a análise estatística de séries de medições, a contribuição devido ao padrão de dureza utilizado, a resolução do equipamento, entre outros.

### 3.11. Apresentação dos Resultados

Os resultados serão apresentados mediante certificado de ensaio, além disso, terá como anexo os dados obtidos do respectivo ensaio.

#### 4. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

Para testar este procedimento foram obtidos corpos de prova e submetidos ao ensaio de dureza Rockwell Norma, seguindo o respectivo procedimento desenvolvido acima. Os corpos de prova devem ser obtidos de forma que tenham a superfície lisa e plana. Para a confecção destes foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Serras manuais e elétricas;
- Esmeril de bancada
- Lima
- Lixas de número 80, 100 e 180, 220, 420 e 600.

Observações:

- Os corpos de prova foram obtidos com as seguintes dimensões: diâmetro de 10 mm e espessura de 10 mm.
- Equipamento utilizado foi o descrito no respectivo procedimento, Durômetro Rockwell Durotwin – 963 – 102 R. Ver Figura 2, logo a seguir.



Figura 2 - Durômetro Rockwell Durotwin – 963 – 102 R

##### 4.1. Resultados dos Ensaios

Os resultados dos ensaios podem ser observados na Tabela III, logo a seguir:

Tabela III – Resultados Obtidos

Material	Valor da Dureza
Aço Inoxidável 304	$18,10 \pm 0,60$ HRB
Aço 1020	$78,40 \pm 0,70$ HRB
Alumínio	$86,01 \pm 0,57$ HRF
Cobre	$91,70 \pm 0,48$ HRF

## 5. CONCLUSÃO

Foi observado com a realização deste trabalho que é de grande importância a utilização de normas e procedimentos para a realização de ensaios, além disso, que os equipamentos e padrões utilizados para a realização destes tenham rastreabilidade metrológica, pois desta forma será possível minimizar as incertezas durante o processo de medição.

No que se refere à determinação da dureza, observou-se que deve se ter um controle referente ao tempo de execução do ensaio, pois dependendo da dureza do material este pode vir a variar os seus valores. Além disso, observa-se que é bastante importante que a superfície esteja plana, caso contrário ocorre erro na medição.

No que se refere de fato ao desenvolvimento do respectivo procedimento de medição de dureza observa-se que o mesmo é de suma importância para o desenvolvimento deste ensaio, pois proporciona não só uma maior segurança ao operador como também dá uma maior confiabilidade metrológica aos resultados, visto que o mesmo deve ser seguido na íntegra. Além disso, é importante acrescentar que o equipamento utilizado seja calibrado ou que o padrão utilizado tenha rastreabilidade metrológica e o responsável pela execução esteja devidamente capacitado para tal função.

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

INMETRO, **Guia Para a Expressão da Incerteza de Medição**. 3º ed. Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, 2003.

LIRA, F. A. **Metrologia na Indústria**. São Paulo: Érica, 2001.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia**. 2º ed. Brasília: SENAI/DN, 2000.

Manual do Usuário. **Durômetro Rockwell 963 – 102 R**. Mitutoyo

Norma NBR ISO/IEC 17025. **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração** (Janeiro/2001).

Norma NBR NM 146 - 1. **Materiais Metálicos – --Materiais:metálicos – Dureza Rockwel – Parte 1: Medição da dureza Rockwell (escalas A, B, C, D,E, F,G, H e K) e Rockwell superficial. (escalas 15N, 30 N, 45 N, 15T,30Te 45T)**, 1998.