

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Gustavo Henrique Monteiro

Vinicius Cabral Cadorini

**A INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO DE DISSULFETO DE
MOLIBDÊNIO NO ENSAIO DE DUREZA PELO MÉTODO
BRINELL**

Taubaté – SP

2017

Gustavo Henrique Monteiro

Vinicius Cabral Cadorini

**A INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO DE DISSULFETO DE
MOLIBDÊNIO NO ENSAIO DE DUREZA PELO MÉTODO
BRINELL**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Co-orientadora: Prof^a. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

M775i

Monteiro, Gustavo Henrique

A influência do revestimento de dissulfeto de molibdênio no ensaio de dureza pelo método Brinell. / Gustavo Henrique Monteiro, Vinicius Cabral Cadorini. - 2017.

41f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia
Mecânica e Elétrica, 2017

Orientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren,
Coorientador: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de
Oliveira Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica e
Elétrica.

1. Ensaio de dureza Brinell. 2. Estudo de R&R. 3.
Revestimento de dissulfeto de molibdênio. I. Título.

GUSTAVO HENRIQUE MONTEIRO
VINICIUS CABRAL CADORINI

A INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO DE DISSULFETO DE MOLIBDÊNIO NO
ENSAIO DE DUREZA PELO MÉTODO BRINELL

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté.

Data: 1º/Nov/2017

Resultado: Aprovado (10,0 com louvor).

BANCA EXAMINADORA

Prof. Paulo César Corrêa Lindgren

Universidade de Taubaté

Assinatura  _____

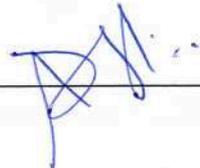
Prof. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

Universidade de Taubaté

Assinatura  _____

Prof. Aluisio Pinto da Silva

Universidade de Taubaté

Assinatura  _____

Aos meus amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro de produção melhora tudo o que tenho produzido na vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que por mais dificuldades que tivemos ao longo de todo o curso, nunca nos faltou a esperança, força, saúde, companheirismo, harmonia e a consciência de que não somos mais do que ninguém.

As nossas famílias, que não nos deram tudo o que queríamos, mas deram tudo o que precisamos e, por muitas vezes, ensinando-nos muitas coisas sem usarem palavras, mas sim atitudes, mostrando que um diploma jamais substituirá o caráter de alguém.

A todo corpo docente, que nos proporcionou a construção, ampliação e desenvolvimento de nossa formação profissional e de novos conhecimentos, apoiando-nos e claro, cobrando-nos.

Aos amigos, que fizeram parte da nossa formação, por nunca abrirem mão da união, preocupação e respeito ao próximo, pois com certeza, sozinhos não teríamos forças para tantos obstáculos.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

RESUMO

Nas empresas prestadoras de serviços de petróleo, óleo e gás, é comum o desenvolvimento e fabricação de equipamentos que precisam ser revestidos com um tipo específico de revestimento chamado de “dissulfeto de molibdênio”. Este revestimento tem como objetivo, por exemplo, evitar a criação de vida marinha na superfície das peças que serão montadas no fundo do mar. Além desse requisito específico, existem os ensaios mecânicos, que são requisitos para a matéria prima dos componentes para determinar, por exemplo, o limite de escoamento, resistência à tração, alongamento, grau de redução, resistência ao impacto, dureza entre outros. Para verificar se as propriedades mecânicas durante o processo de manufaturado material continuam atendendo às normas aplicáveis, realiza-se o ensaio de dureza, pois o valor de dureza tem relação direta com os valores das propriedades mecânicas do material. Porém devido a erros de inspeção, processo e engenharia, algumas peças revestidas sem o ensaio de dureza. Torna-se necessário a remoção parcial do revestimento para o ensaio, gerando retrabalho e conseqüentemente, custos à empresa. O objetivo deste trabalho é analisar através de um estudo de R&R (repetibilidade e reprodutibilidade) a influência deste revestimento na realização do ensaio de dureza utilizando o método Brinell.

Palavras-chave: Ensaio de dureza Brinell; Estudo de R&R; Revestimento de dissulfeto de molibdênio.

ABSTRACT

In oil and gas service companies, it is common to develop and manufacture equipment that needs to be coated with a specific type of coating called "molybdenum disulphide". This coating is intended, for example, to prevent the creation of marine life on the pieces surfaces that will be mounted on the seabed. In addition to this specific requirement, there are mechanical tests, which are requirements for the raw material of the components to determine, for example, the yield limit, tensile strength, elongation, degree of reduction, impact strength, hardness, among others. In order to verify that the mechanical properties during the manufacturing process continue to meet the applicable standards, the hardness test is performed, because the hardness value is directly related to the values of the mechanical properties of the material. However due to errors of inspection, process and engineering, some parts are coated without the hardness test. It is necessary to partially remove the coating for the test, generating rework and, consequently, costs to the company. The objective of this work is to analyze, through an R & R study (repeatability and reproducibility), the influence of this coating on the performance of the hardness test using the Brinell method.

Keywords: Brinell hardness test; R&R Study; Molybdenum Disulphide coating.

LISTA DE QUADROS

Quadro1 – Medições realizadas dos ensaios realizados antes do processo de revestimento.....	33
Quadro 2– Medições realizadas dos ensaios realizados após o processo de revestimento.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Recorte da tabela “Valores de Dureza em Brinell”, da ASTM E10 “Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials”.....	32
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corpos de prova.....	24
Figura 2 – Corpos de prova com o revestimento.....	25
Figura 3 – Medição da espessura do revestimento.....	27
Figura 4 – Durômetro tipo “King”	28
Figura 5 – Bloco padrão	28
Figura 6 – Calota esférica impressa no material ensaiado antes do revestimento....	29
Figura 7 – Calota esférica impressa no material ensaiado depois do revestimento..	30
Figura 8 – Lupa graduada	30
Figura 9 – Imagem da escala graduada sobre a calota	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AISI- *American Iron and Steel Institute* (Instituto Americano de Ferro e Aço)

ANM- Árvore de Natal Molhada

ANM H- Árvore de Natal Molhada Horizontal

API- *American Petroleum Institute* (Instituto Americano de Petróleo)

ASTM- *American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana de Testes e Materiais)

BAP- Base Adaptadora de Produção

BCS- Bombeamento Centrífugo Submerso

Cr- Cromo

HB- Hardness Brinell (Dureza *Brinell*)

MCV- Módulo de Acesso de Conexão Vertical

Mo- Molibdênio

MoS₂-Dissulfeto de Molibdênio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 Delimitação do estudo	13
1.3 Relevância do estudo	14
1.4 Organização do trabalho	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 A indústria do petróleo e os equipamentos de exploração	16
2.1.1 A “Árvore de Natal”: Classificação e características	17
2.1.1.1 Árvore de Natal Molhada Convencional ou Vertical – ANM	18
2.1.1.2 Árvore de Natal Molhada Horizontal – ANM-H	18
2.2 Dissulfeto de molibdênio	19
2.2.1 Fundamentação teórica.....	19
2.2.2 Utilização do revestimento de Dissulfeto de Molibdênio na Árvore de Natal....	20
2.3 Ensaio de dureza	20
2.3.1 Dureza Brinell.....	21
3 METODOLOGIA	23
3.1 Metodologia da pesquisa	23
3.2 Revestimento	24
3.2.1 Métodos.....	26
3.2.1.1 Aplicação do revestimento de Dissulfeto de Molibdênio.....	26
3.2.1.2 Instrumentação e Metodologia de Teste	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A engenharia submarina tem sido decisiva para exploração marinha de petróleo, conhecido também como Sistema Offshore. Soluções tecnológicas sofisticadas, com equipamentos bastante específicos permitem levar o petróleo e o gás natural do fundo do mar até as unidades de produção. Dentre estes equipamentos, destaca-se a ANM, “Árvore de Natal Molhada”.

O nome “Arvore de Natal” surgiu na década de 1930, quando habitantes de províncias petrolíferas terrestres, nos EUA, associaram o equipamento – que estava coberto de neve – a um pinheiro de Natal. Com o desenvolvimento dos primeiros poços submarinos na década de 1960, o termo ganhou o adjetivo “molhada” quando passou a ser instalada no fundo do mar.

Trata-se de um conjunto de válvulas operadas remotamente, que controlam o fluxo dos fluídos produzidos ou injetados no poço. Suporta elevadas pressões e diferentes faixas de temperatura ambiente. É instalada na cabeça do poço submarino, com o auxílio de mergulhadores (profundidades de até 300 metros) ou de veículos subaquáticos de operação remota (ROV – *Remotely Operated Under water Vehicle*), para águas profundas e ultraprofundas.

A exploração do petróleo no fundo do mar consiste numa atividade complexa e perigosa, que pode resultar em acidentes de grandes proporções com uma série de consequências, principalmente ambientais. Portanto, é de extrema importância que os materiais sejam submetidos a ensaios que assegurem as propriedades físicas, de qualidade e segurança.

Segundo Rodrigues, 2005, os ensaios dos materiais podem ser classificados quanto à integridade geométrica e dimensional da peça ou componente e podem ser de dois tipos:

- Destrutivos: quando após executados provocam a inutilização parcial ou total das peças (tração, dureza, fadiga etc.);
- Não-destrutivos: quando após executados não comprometem a integridade da peça (raios X, ultrassom etc.).

Sobre o ensaio de dureza, o método Brinell é um dos mais utilizados na indústria, devido à diversidade e versatilidade dos instrumentos de medição e confiabilidade nos resultados obtidos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Reconhecendo a importância do ensaio de dureza para a indústria petroquímica e considerando a larga aplicação do revestimento de molibdênio em seus equipamentos, o objetivo deste estudo é elucidar, por meio de um estudo de R&R (repetibilidade e reprodutibilidade), a interferência e influência deste revestimento nas medições do ensaio de dureza pelo método Brinell.

1.1.2 Objetivos Específicos

Colaborar com informações precisas e objetivas sobre a necessidade (ou não) da remoção do revestimento de dissulfeto de molibdênio para a realização do ensaio de dureza utilizando o método Brinell.

Elaborar plano de experimentos e realizar, com auxílio do software Minitab, o estudo de R&R (repetibilidade e reprodutibilidade) com os valores de dureza encontrados nas diferentes amostras, com diferentes operadores, em peças com e sem o revestimento de dissulfeto de molibdênio, pelo ensaio de dureza Brinell realizado conforme ASTM E10-15^a *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*.

1.2 Delimitação do estudo

Por questões de prazo e custo, este trabalho se restringirá ao estudo dos valores de dureza Brinell em amostras com e sem revestimento de dissulfeto de molibdênio, não se estendendo nem para outros tipos de ensaios de dureza, mesmo que pertinentes, nem para abranger outros tipos de revestimentos que sejam igualmente aplicáveis como lubrificantes de alta eficiência.

1.3 Relevância do estudo

Devido à complexidade das normas envolvidas na produção dos equipamentos do setor Petroquímico e constantes revisões nos requisitos, seja normativo ou a mando do cliente, alguns ensaios não são realizados ou, em alguns casos, foram realizados, porém não apresentados para o cliente.

O ensaio de dureza não somente pode encaixar-se nas situações mencionadas no parágrafo anterior como também pode, em casos específicos, suprimir dados faltantes e/ou duvidosos de algum ensaio mecânico realizado na matéria prima, ou até mesmo indicar de forma indireta valores que serão analisados pela engenharia de materiais para estudo do comportamento do material. Surge então a necessidade da realização do ensaio no produto acabado que eventualmente pode estar revestido. Por convenção, isto implicaria na remoção parcial do revestimento na região a ser ensaiada.

Considerando o método Brinell para ensaio de dureza e o “dissulfeto de molibdênio” para revestimento, o estudo desenvolvido por este trabalho propõe a obtenção de informações sobre a influência e a interferência (ou não) da camada do revestimento nas medições geradas pelo ensaio de dureza. A não interferência do revestimento implicará em um novo entendimento sobre superfícies que são permitidas para a realização do ensaio de dureza pelo método Brinell e, desta forma, poderá contribuir com as empresas do setor Petroquímico na redução de custos com retrabalho gerados devido à remoção e reaplicação do revestimento, e atrasos devido ao tempo gasto para realização do ensaio e tempo de cura do revestimento.

1.4 Organização do trabalho

Esse trabalho está estruturado em cinco capítulos:

No primeiro capítulo apresenta-se a introdução, o objetivo geral, os objetivos específicos, a delimitação do tema, a relevância do estudo e a organização do trabalho.

No segundo capítulo, denominado de Revisão de Literatura, é retratado num contexto geral a história da indústria do petróleo e os equipamentos de exploração,

além de conceitos sobre o revestimento de dissulfeto de molibdênio e ensaio de dureza, enfatizando o método Brinell.

No capítulo três tem-se a Metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho.

No quarto e quinto capítulo são abordados os Resultados e Conclusões do trabalho, respectivamente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A indústria do petróleo e os equipamentos de exploração

“Nenhum outro negócio define de forma tão completa e radical o significado do risco e da recompensa”. (YERGIN, 2010)

No começo de século XIX, para fins de iluminação, o chamado “petróleo iluminante” ganhava destaque econômico ao ser utilizado como fonte de energia. Porém, este interesse comercial sofreu um hiato após Thomas Edison desenvolver o conhecimento sobre energia elétrica, substituindo assim o petróleo como fonte de iluminação. Apenas no final do século XIX, partir da invenção motores a gasolina e a diesel, o petróleo passou a ser utilizado em grandes escalas, intensificando-se sua exploração. (DEBEIR, 1993)

Nas primeiras décadas do século XX, com o aumento do consumo de derivados do petróleo, as técnicas de exploração continuaram a ser aperfeiçoadas, substituindo formas aleatórias na procura de reservas por métodos científicos, pelo mapeamento geológico da superfície. Durante a Primeira Guerra Mundial foi aprimorado o sismógrafo de refração que, com o desenvolvimento de uma nova ciência em paralelo, a geofísica, foi o protagonista na forma de “ver o subsolo” à procura de novas jazidas de petróleo. Quase todos os anos seguintes, a tecnologia avançou para explorar esse recurso. As válvulas e os controles que calibraram o fluxo do óleo - apelidado a árvore de Natal - foram desenvolvidos em 1922, seguidos pela criação da instrumentação do controle da perfuração em 1925. Os cientistas igualmente se tornaram envolvidos com a busca para o óleo e em meados de 1930, o sismógrafo de refração foi superado pela sísmica de reflexão, que vem sendo adotada até hoje, com o objetivo de se obter mapeamentos das estruturas das rochas de subsuperfície. (YERGIN, 2010, p. 244; NOIA, 2006)

A associação entre empresas petrolíferas e instituições de ciência e tecnologia permitiu o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para exploração e produção do petróleo *offshore*, fundamentais para o avanço em águas profundas e ultraprofundas. São os casos de navios sonda, plataformas de posicionamento dinâmico, árvores de Natal molhadas (árvores de válvulas instaladas no leito marinho), equipamentos de

separação para os fluxos óleo-gás-água no próprio leito submarino, dutos ou *risers* resistentes à sísmica tridimensional de alta pressão, entre outras inovações. (MORAIS, 2013)

Após a perfuração do poço com tubos de aço, em seu interior são instalados as válvulas de segurança de subsuperfície, a coluna de produção e vários outros equipamentos; Na cabeça do poço instala-se a árvore de Natal submarina; No solo marinho, as linhas de fluxo e manifolde são alojadas e na seção vertical, os *risers* são instalados para elevar os hidrocarbonetos até a plataforma (Anexo 1, figuras 1,2,3).A cabeça de poço, alojada na parte superior do poço, tem funções de vedação, de sustentação dos tubos instalados dentro do poço e de servir como base para a árvore de natal. A árvore de natal submarina ou árvore molhada é um equipamento com válvulas, posicionado sobre a cabeça de poço para o controle dos fluxos de petróleo-gás natural extraídos, bem como para a injeção de fluidos quando requerido (e.g., injeção de aditivo químico). O manifolde é um equipamento de grande porte, instalado no solo marinho, que concentra o petróleo e o gás extraídos por diversas árvores de natal para o transporte da produção através de uma linha tronco no leito marinho e a elevação dos fluidos até a plataforma por meio de *risers*. (THOMAS, 2004)

2.1.1 A “Árvore de Natal”: Classificação e características

Na década de 1930, moradores de províncias petrolíferas terrestres dos Estados Unidos fizeram a associação do equipamento de extração, que estava coberto de neve, a um pinheiro natalino. Assim surgia a “Árvore de Natal”. Com a descoberta de petróleo no fundo do mar, e com o sistema offshore em plena ascensão, esse equipamento foi desenvolvido e adaptado às novas condições e passou a ser chamado de árvore de natal molhada. (Revista Petrobras, 2016)

A árvore de Natal molhada é um equipamento instalado na cabeça do poço, no fundo do mar, composta por conectores e válvulas para o controle dos fluxos de petróleo-gás-água extraídos do poço (Figura 1). Suporta altas pressões e temperaturas do poço e as altas pressões hidrostáticas e baixas temperaturas do ambiente marinho. São instaladas por mergulhadores, em profundidades de até 300 metros, ou por meio de um veículo Operação Remotas (ROV) em águas profundas e ultraprofundas. Junto com a árvore de Natal compõe o sistema de produção de

petróleo submarino: o Manifold, linhas de fluxo, Risers, cabos umbilicais e vários outros equipamentos. (Revista Petrobras, maio/2017)

2.1.1.1 Árvore de Natal Molhada Convencional ou Vertical – ANM

É o equipamento com ampla aplicação no Brasil e com conhecimento e aplicação mundial. Compõe-se por: base das linhas de fluxo (base adaptadora de produção ou BAP), “suspensor” de coluna de produção, terminação das linhas de fluxo (módulo de Acesso de conexão vertical ou MCV), ANM propriamente dita, e pela capa da ANM. Esses equipamentos são “pigáveis” e possuem revestimento especial (metalurgia especial). (CAMARGO, 1998)

2.1.1.2 Árvore de Natal Molhada Horizontal – ANM-H

A ANM-H tem a mesma finalidade básica de uma ANM convencional. Pode ser descrita como sendo uma base adaptadora de produção (BAP) com válvulas montadas na sua lateral. O “suspensor” de coluna é assentado no interior da ANM e direciona o fluxo de hidrocarbonetos para a sua lateral (a vedação deste componente é de grande importância neste tipo de árvore horizontal). Essa árvore teve propósito de início para utilizações de poços submarinos através do método de bombeamento centrífugo submerso (BCS). As principais diferenças dessa configuração em relação à convencional são:

- Eliminação da BAP;
- Eliminação da utilização de *riser dual-bore* nas operações de instalação e workover, já que o acesso ao anular pode ser feito pela *killline* do BOP;
- Permite utilizar a “completação” do tipo *large bore* no “suspensor” de coluna, já que foi eliminado o furo vertical de acesso ao anular no “suspensor”;
- A ANM-H pode fazer uso de *TreeCap* interna e externa. Atualmente se tem dado preferência à utilização de capa externa, uma vez que, permite que as conexões elétricas de sinal e potência sejam realizadas na vertical, além de poder dispor de painel back-up hidráulico montado na mesma. (CAMARGO, 1998)

2.2 Dissulfeto de molibdênio

2.2.1 Fundamentação teórica

O Dissulfeto de Molibdênio, presente no mineral molibdenita, possui a fórmula MoS_2 e a cor de grafite. É a principal fonte de molibdênio. A molibdenita é encontrada em sua maior parte no Estado do Colorado, EUA. O enxofre quando combinado com o molibdênio, não reage com os metais, como o faria no estado livre, oxidando-se e formando ácido sulfúrico, que é bastante corrosivo. (WYPYCH, 2002)

Para ser usado como lubrificante a molibdenita deve ser sujeita a uma refinação para remover impurezas abrasivas. Este processo é seguido por outro, de diminuição de tamanho de partículas, que leva a um tamanho médio de 0,5 microns. Assim é possível formar suspensões coloidais, estáveis em óleos e graxas; estas não se separam por ação de armazenagem, calor, etc. Tais suspensões não são retidas nos filtros de óleo. (WYPYCH, 2002)

O Dissulfeto de Molibdênio resiste a pressões extremas. A propriedade lubrificante aumenta com a pressão desenvolvida, garantindo a lubrificação em pressões maiores que 28.000 kg/cm^2 . A dureza do Dissulfeto de Molibdênio (conforme escala de Moh) é baixa, de 1 a 1,5; porém atinge a escala 8, sendo mais alto do que o aço, resultando na resistência do Dissulfeto de Molibdênio à desgastes. Sua ação de lubrificação independe da temperatura, com variação entre 68°C a 450°C . Tem rápida decomposição acima dessa temperatura, porém a falta de oxigênio pode aumentar a temperatura de decomposição a 1.100°C . A oxidação ao ar resulta no Trióxido de Molibdênio, o qual não possui propriedades lubrificantes e, devido ao tamanho de suas partículas, pode atuar como abrasivo. (WYPYCH, 2002)

O Dissulfeto de Molibdênio resiste a ácidos, com exceção do ácido sulfúrico concentrado quente, água régia e ácido nítrico. Não tem reação com gases, exceto flúor e cloro aquecidos. Seu coeficiente de atrito é de 0,05 a 0,09. Seu efeito lubrificante é dado por um revestimento por camada muito fina sobre as superfícies metálicas. (WYPYCH, 2002)

Quanto mais friccionado à superfície maior será sua aderência. Ou seja, quanto mais atrito, maior pressão ou maior aplicação por choque, resultam num revestimento mais eficaz e uniforme. (WYPYCH, 2002)

2.2.2 Utilização do revestimento de Dissulfeto de Molibdênio na Árvore de Natal.

Amplamente utilizados na indústria de petróleo e gás, os revestimentos compostos pelo Dissulfeto de Molibdênio (Lubrificante Seco Permanente) propiciam vantagens como facilidade durante montagem e desmontagem entre equipamentos, evitando a interferência. Eles têm excelente resistência à névoa salina. A película lubrificante tem a propriedade de oferecer uma vida maior ao metal, pois ela não se decompõe com a mesma facilidade como no caso do lubrificante líquido, que evapora, ou o lubrificante pastoso, que sofre ressecamento e pode se misturar com o pó, areia, terra e outros contaminantes sólidos, mudando a configuração do lubrificante, gerando abrasão e desgastando a peça. (Instruções da Qualidade da empresa Ômega, 2016)

O revestimento de Dissulfeto de Molibdênio pode ser aplicado sobre as peças de aço carbono e baixa-liga que compõem a Árvore de Natal. É aplicado, primeiramente, para conferir às superfícies metálicas um grau de proteção anti-corrosiva, devido sua lubricidade. Este revestimento consiste em duas partes: uma resina termoestável atuando como lubrificante sólido, conhecida como *Top coat* (camada de topo), sobre uma outra resina termoestável, chamada de *Base coat* (camada de base), ambas aplicadas sobre uma camada de fosfato para conferir adicionalmente resistência à corrosão. (Instruções da Qualidade da empresa Ômega, 2016)

2.3 Ensaios de dureza

Segundo Poepcke (1997, p. 435), “para o conceito de dureza são atribuídos diferentes significados, tais como medida de resistência do material a ações de origem mecânica sobre sua superfície, resistência à penetração, à deformação plástica e ao risco”.

A diferença entre os resultados de ensaios de dureza entre diferentes materiais está diretamente ligada à composição química, quantidade de elementos de liga adicionados ao material, além dos tratamentos térmicos em que possam ser submetidos (BOMBONATTI, 1990).

O ensaio de dureza é empregado amplamente em pesquisa e avaliação de materiais para controle de qualidade, por ser um método mais versátil e mais rápido para quantificação de propriedades mecânicas de materiais (LETA, 2010).

Mesmo que classificado como “ensaio destrutivo”, o ensaio de dureza é comumente realizado entre etapas de fabricação do material, principalmente após usinagem e tratamento térmico finais. A deformação ocasionada pelo ensaio é mínima e o ensaio é geralmente realizado em regiões da peça previamente estabelecidas pela engenharia de produto, não comprometendo o material, seja estruturalmente ou dimensionalmente. Trata-se de uma vantagem fundamental para assegurar que o material na sua condição final, mesmo após a todos os processos de manufatura em que foi submetido, estará com as mesmas propriedades verificadas quando matéria prima. Isto porque existe uma correlação entre a dureza e a resistência à tração. A resistência à deformação é dependente do módulo de elasticidade. A tensão de escoamento é cerca de 1/3 da dureza, por exemplo. (RODRIGUES, 2005)

Devido à importância do ensaio de dureza para assegurar a conformidade do material acabado, este se tornou requisito obrigatório para determinadas classes de materiais e em diversas normas relacionadas à indústria do Petróleo. Dentre estas instituições pode-se citar o *American Petroleum Institute* (API) como uma das associações mais ativas nesta área. (SOARES, 2015)

Analisa-se a dureza por ensaios destrutivos (onde o material analisado sofre deformações, mecânicas ou químicas, causadas pelo método de ensaio utilizado), utilizando-se máquinas de dureza (ou durômetros). Cada máquina tem sua aplicação para um determinado método de dureza. A dureza é constatada pela resistência do material para com o penetrador. Existem diferentes métodos para analisar a dureza: método Rockwell, Vickers e Brinell, sendo este último um dos mais utilizados. (RODRIGUES, 2005)

2.3.1 Dureza Brinell

Consiste em comprimir lentamente uma esfera de aço temperado ou tungstênio sobre uma superfície plana, polida e limpa de um metal, por meio de uma carga durante um tempo, produzindo uma calota esférica. Além de existirem no mercado

durômetros portáteis e de bancadas que permitem facilidade e versatilidade na utilização, a esfera deste teste comparado a outros métodos provoca a indentação (que é a marca feita pelo penetrador do durômetro na peça em que está sendo realizado o ensaio de dureza) mais profunda e mais larga (utiliza-se uma esfera de 10mm, com uma pré-carga de 3000 kgf). Com isto a dureza medida no teste abrange uma porção maior de material, resultando numa média de medição mais precisa, tendo em conta possíveis estruturas policristalinas e heterogeneidades do material. (RODRIGUES, 2005)

A dureza Brinell é representada pelas letras HB. Essa representação vem do inglês *Hardness Brinell*, que quer dizer dureza Brinell. A dureza Brinell (HB) é a relação entre a carga aplicada e a área da calota esférica impressa no material ensaiado. (RODRIGUES, 2005)

O número de dureza Brinell deve ser seguido pelo símbolo HB, sem qualquer sufixo, sempre que se tratar do ensaio padronizado, com aplicação da carga durante 15 segundos. Em outras condições, o símbolo HB recebe um sufixo formado por números que indicam as condições específicas do teste, na seguinte ordem: diâmetro da esfera, carga e tempo de aplicação da carga (RODRIGUES, 2005).

3 METODOLOGIA

3.1 Metodologia da pesquisa

A forma como uma pesquisa é desdobrada (explanada) é o que define sua maior (ou menor) capacidade de estudar os fatos e argumentos que giram em torno dela (KAHLMEYER-MERTENS et al., 2007). Para Reis (2010), a pesquisa é a forma organizada pela qual o pesquisador busca respostas para os problemas propostos.

O estudo de caso é uma pesquisa de investigação empírica, onde o pesquisador não controla os eventos e variáveis ao seu redor (MARTINS, 2007). Para Thomas, Nelson e Silverman (2012), o estudo de caso é uma forma de pesquisa descritiva, em que o pesquisador analisa um único caso em profundidade para alcançar maior compreensão sobre casos parecidos.

De acordo com Yin (2001), o estudo de caso utiliza vários métodos: documentação, registros em arquivo, entrevistas, observação dos participantes envolvidos e artefatos físicos. Neste estudo foram utilizados aços de diferentes classes, equipamentos de medição, instruções e procedimentos, além da colaboração de diferentes operadores para execução dos ensaios e medições.

A utilização de documentos em um trabalho científico é de grande e importante relevância ao passo que possibilita a comprovação concreta daquilo que está sendo argumentado, enriquecendo o conteúdo abordado (YIN, 2001).

Quanto ao objetivo da pesquisa, este trabalho apresenta aspectos de pesquisa experimental, uma vez que foi determinado o objeto de estudo, as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, e as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

3.2 Materiais e métodos

De modo a avaliar a influência do revestimento de dissulfeto de molibdênio na realização do ensaio de dureza utilizando o método Brinell, foram separados 4 diferentes tipos de materiais com diferentes faixas de dureza. Os ensaios de dureza foram realizados conforme a última revisão da norma ASTM E10. As medições foram realizadas por 3 operadores diferentes, devidamente treinados para a execução do

ensaio. Cada peça foi ensaiada duas vezes por cada operador: antes e após revestimento.

3.2.1 Materiais

3.2.1.1 Corpos de prova

Os corpos de prova (Figura 1) utilizados neste trabalho são oriundos de peças descartadas pela empresa Ômega, que confecciona equipamentos para extração de petróleo. O critério para a escolha dos materiais foi, sobretudo, a diversidade das faixas de dureza para diferentes ligas metálicas. Os 4 materiais escolhidos foram: ASTM A36 (Aço estrutural) AISI 4130 (Aço de baixa liga), ASTM A182 Grade F22 (Aço de baixa liga resistente ao calor do tipo Cr-Mo) e AISI 316 (Aço inoxidável austenítico).

Figura 1 – Corpos de prova

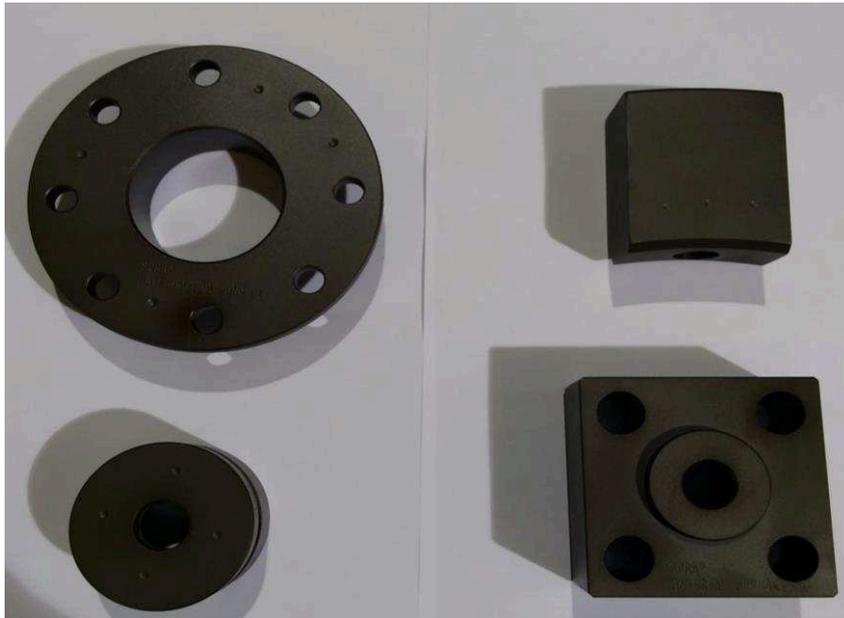


Fonte: Elaborada pelos autores

3.2.1.2 Revestimento

Após os ensaios de dureza terem sido realizados diretamente no material de base, na condição “sem revestimento”, as mesmas foram submetidas ao processo de revestimento para o ensaio de dureza ser realizado novamente (Figura 2). Neste processo, os revestimentos de dissulfeto de molibdênio utilizados foram o Ever-Slik 1201 (*base coat*) e o Ever-Slik 1301 (*top coat*).

Figura 2 – Corpos de prova com o revestimento



Fonte: Elaborada pelos autores

O Ever-Slik 1201 é um revestimento de barreira termicamente curado, à base de solvente, que utiliza um sistema de aglutinante epoxi de elevado peso molecular. Este revestimento oferece proteção anticorrosiva superior e excelente resistência química em uma ampla variedade de aplicações. Pode ser utilizado como revestimento autônomo; ou é usado frequentemente como um *primer* para Ever-Slik 1301 e outros revestimentos funcionais para conseguir uma combinação de resistência à corrosão e lubricidade.

O Ever-Slik 1301 é um lubrificante de filme sólido especialmente ligado especialmente formulado para o mercado industrial pesado. Fornece boa lubricidade e resistência à corrosão e previne a irritação e a apreensão. Ele tem encontrado grande aceitação na indústria petroquímica, especialmente em fechos roscados e parafusos. O Ever-Slik 1301 é comumente usado como um *top coat* sobre Ever-Slik 1201.

3.2.2 Métodos

3.2.2.1 Aplicação do revestimento de Dissulfeto de Molibdênio

Previamente é realizada uma inspeção visual em toda a área a ser revestida para garantir que a superfície esteja limpa, isenta de contaminantes como óleos, gordura, umidade e poeira. A limpeza superficial é de fundamental importância para que o revestimento tenha boa aderência ao substrato. É necessária a verificação da umidade relativa do ar, para que esta não ultrapasse 80%. A temperatura da peça não deve ser inferior a 18°C e o ar utilizado na pulverização dos produtos deve ser isento de óleo e umidade.

A segunda etapa é o processo de fosfatização (fosfato de manganês ou fosfato de zinco), com o objetivo de preparar as superfícies metálicas favorecendo a aderência de tintas e o aumento da resistência à corrosão.

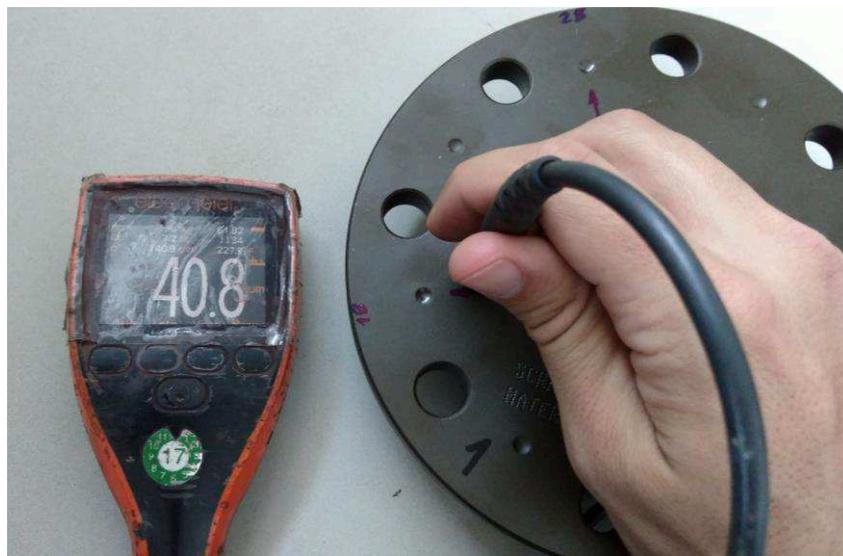
Após a fosfatização, as peças são levadas para a primeira aplicação do revestimento, o *Base Coat*. A primeira resina termoestável é o Everslik 1201 que deve ser dissolvido na proporção de duas partes de solvente (50% metil-etil-cetona + 50% tolueno) e uma parte de concentrado. A aplicação é feita com a utilização de pistolas de pintura convencional, aplicando a camada de base em duas a três passadas uniformes. Entre cada passada, deve-se aguardar pelo menos 15 minutos ao ar seco.

A espessura da película seca após aplicação do *Base Coat* mais o Fosfato de Zinco ou Fosfato de Manganês deve atender aos requisitos de projeto da peça. A peça é levada para a estufa para efetuar uma pré-cura da camada de base. O aquecimento é feito a uma temperatura e tempo pré-determinados, contados a partir do momento em que a peça tenha atingido a temperatura de cura. Após a pré-cura, a peça deverá ser retirada da estufa e colocada de maneira que o resfriamento ocorra em ar calmo, para a aplicação da próxima camada.

A segunda aplicação é o *Top Coat*. A resina termoestável é o Everslik 1301. A diluição deve ser feita na proporção de três partes de solvente (50% ethanol + 50% tolueno) e uma parte de concentrado. Também pode ser aplicada por meio de pistolas de pintura convencional. O *Top Coat* deve ser aplicado em duas a três passadas uniformes, aguardando pelo menos 15 minutos ao ar seco entre cada passada.

A espessura da película seca após aplicação do *Top Coat* mais o Fosfato de Zinco ou Fosfato de Manganês e mais o *Base Coat* devem atender aos requisitos de projeto da peça. Conforme a “Instrução de Qualidade: Aplicação de revestimento de Dissulfeto de Molibdênio”, da empresa Ômega, a espessura total, incluindo o fosfato, tem um range de 0,033 a 0,046 mm. Citando a Figura 3 como exemplo, o revestimento atende ao especificado.

Figura 3 – Medição da espessura do revestimento



Fonte:

Elaborada pelos autores

3.2.2.2 Instrumentação e Metodologia de Teste

Conforme Figura 4, o durômetro utilizado foi do tipo “King”, que utiliza uma pré-carga de 3000 Kgf e esfera de tungstênio de 10 milímetros de diâmetro.

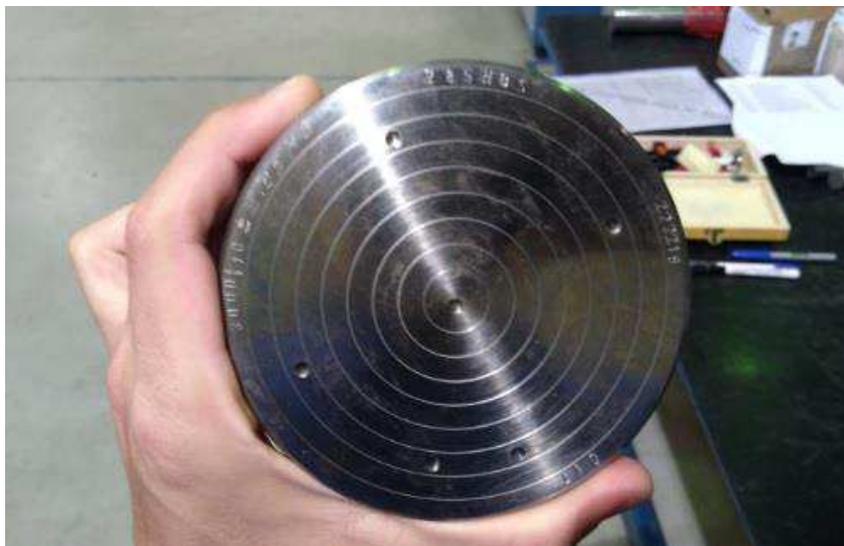
Figura 4 – Durômetro tipo “King”



Fonte: Elaborada pelos autores

Antes de cada ensaio, o durômetro foi calibrado com o bloco padrão de dureza (Figura 5) semelhante à peça que foi ensaiada.

Figura 5 – Bloco padrão



Fonte: Elaborada pelos autores

Primeiramente, cada operador realizou o ensaio de dureza uma vez em cada uma das quatro peças sem o revestimento, conforme Figura 6. As peças tiveram suas superfícies jateadas e a área designada para o ensaio foi lixada com o disco de acabamento *flap*.

Figura 6–Calota esférica impressa no material ensaiado antes do revestimento



Fonte: Elaborada pelos autores

Na sequência, as peças foram revestidas com o dissulfeto de molibdênio de forma integral (base + top coat). Novamente, cada operador realizou o ensaio de dureza uma vez em cada uma das quatro peças, dessa vez com o revestimento (Figura 7).

Figura 7– Calota esférica impressa no material ensaiado depois do revestimento



Fonte: Elaborada pelos autores

As medições dos diâmetros das calotas impressas no material, foi realizada com auxílio de lupa graduada, conforme Figura 8.

Figura 8–Lupa graduada



Fonte: Elaborada pelos autores

Conforme ASTM E10, as medições precisam ser realizadas de forma ortogonal para cada calota, onde o valor final é a média da soma das medições. Para realizar a medição, tangencia-se a linha zero da escala no lado esquerdo da calota e posiciona-se a linha móvel no lado direito da mesma, tangenciando-a, conforme Figura 9. A medição é dada em centésimos de milímetros.

Figura 9–Imagem da escala graduada sobre a calota



Fonte: Elaborada pelos autores

Cada operador realizou as medições na calota gerada pelo ensaio de dureza executado por ele mesmo, e nas calotas dos outros operadores. As medições em milímetros foram convertidas para valores em Brinell, de acordo com a Tabela 1, extraída da ASTM E10.

Tabela 1 – Recorte da tabela “Valores de Dureza em Brinell”, da ASTM E10 “Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials”

APPENDICES

(Nonmandatory Information)

XI. TABLE OF BRINELL HARDNESS NUMBERS

TABLE X1.1 Brinell Hardness Numbers

Note 1—The values given in the table for Brinell numbers are merely solutions of the equation for Brinell hardness, and include values for indentation diameters outside the recommended ranges. These values are indicated by italics.

Diameter of Indentation, <i>d</i> (mm)				Brinell Hardness Number						
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HBW 10/3000	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/ 250	HBW 10/ 125	HBW 10/100
				HBW 5/750		HBW 5/250	HBW 5/125	HBW 5/62.5	HBW 5/31.25	HBW 5/25
ball	ball	ball	ball	HBW 2.5/187.5		HBW 2.5/62.5	HBW 2.5/31.25	HBW 2.5/ 15.625	HBW 2.5/ 7.8125	HBW 2.5/6.25
				HBW 1/30		HBW 1/10	HBW 1/5	HBW 1/2	HBW 1/1.25	HBW 1/1
2.00	1.000	0.5000	0.200	945	473	315	158	78.8	39.4	31.5
2.01	1.005	0.5025	0.201	936	468	312	156	78.0	39.0	31.2
2.02	1.010	0.5050	0.202	926	463	309	154	77.2	38.6	30.9
2.03	1.015	0.5075	0.203	917	459	306	153	76.4	38.2	30.6
2.04	1.020	0.5100	0.204	908	454	303	151	75.7	37.8	30.3
2.05	1.025	0.5125	0.205	899	450	300	150	74.9	37.5	30.0
2.06	1.030	0.5150	0.206	890	445	297	148	74.2	37.1	29.7
2.07	1.035	0.5175	0.207	882	441	294	147	73.5	36.7	29.4
2.08	1.040	0.5200	0.208	873	437	291	146	72.8	36.4	29.1
2.09	1.045	0.5225	0.209	865	432	288	144	72.1	36.0	28.8
2.10	1.050	0.5250	0.210	856	428	285	143	71.4	35.7	28.5
2.11	1.055	0.5275	0.211	848	424	283	141	70.7	35.3	28.3
2.12	1.060	0.5300	0.212	840	420	280	140	70.0	35.0	28.0
2.13	1.065	0.5325	0.213	832	416	277	139	69.4	34.7	27.7
2.14	1.070	0.5350	0.214	824	412	275	137	68.7	34.4	27.5
2.15	1.075	0.5375	0.215	817	408	272	136	68.1	34.0	27.2
2.16	1.080	0.5400	0.216	809	405	270	135	67.4	33.7	27.0
2.17	1.085	0.5425	0.217	802	401	267	134	66.8	33.4	26.7
2.18	1.090	0.5450	0.218	794	397	265	132	66.2	33.1	26.5
2.19	1.095	0.5475	0.219	787	393	262	131	65.6	32.8	26.2
2.20	1.100	0.5500	0.220	780	390	260	130	65.0	32.5	26.0
2.21	1.105	0.5525	0.221	772	386	257	129	64.4	32.2	25.7
2.22	1.110	0.5550	0.222	765	383	255	128	63.8	31.9	25.5
2.23	1.115	0.5575	0.223	758	379	253	126	63.2	31.6	25.3
2.24	1.120	0.5600	0.224	752	376	251	125	62.6	31.3	25.1
2.25	1.125	0.5625	0.225	745	372	248	124	62.1	31.0	24.8
2.26	1.130	0.5650	0.226	738	369	246	123	61.5	30.8	24.6

Fonte: Adaptada pelos autores

Foi registrada cada medição ortogonal de cada calota, realizada pelos três operadores, para cada uma das quatro peças, com e sem revestimento, totalizando 144 medições. A partir da média das três medições realizadas em cada peça por cada operador, foram obtidas as médias finais posteriormente utilizadas no estudo de repetibilidade e reprodutibilidade. A sistemática de ensaios, medições e registros foi feita primeiramente nas peças sem revestimento (Quadro 1).

Quadro1 – Medições realizadas dos ensaios realizados antes do processo de revestimento

PEÇAS SEM REVESTIMENTO - 28/07/2017													
MEDIÇÕES OPERADOR 1													
	Calota - Operador 1				Calota - Operador 2				Calota - Operador 3				<i>MÉDIA FINAL</i>
	1 - a	1 - a	média	HB	2 - a	2 - a	média	HB	3 - a	3 - a	média	HB	
	0°	90°			0°	90°			0°	90°			
Aço estrutural	5,17	5,17	5,17	133	5,31	5,26	5,29	126	5,21	5,21	5,21	130	130
4130	4,08	4,02	4,05	223	4,1	4,08	4,09	218	4,01	4,01	4,01	228	223
liga nobre 316	3,89	3,98	3,94	236	3,79	3,7	3,75	262	3,95	3,89	3,92	239	246
F22	3,51	3,53	3,52	298	3,56	3,56	3,56	292	3,5	3,5	3,50	302	297
MEDIÇÕES OPERADOR 2													
	Calota - Operador 1				Calota - Operador 2				Calota - Operador 3				<i>MÉDIA FINAL</i>
	1 - a	1 - a	média	HB	2 - a	2 - a	média	HB	3 - a	3 - a	média	HB	
	0°	90°			0°	90°			0°	90°			
Aço estrutural	5,1	5,08	5,09	137	5,15	5,15	5,15	134	5,1	5,1	5,10	137	136
4130	4,1	4,1	4,10	217	4,13	4,1	4,12	215	4,15	4,15	4,15	212	215
liga nobre 316	3,85	3,85	3,85	248	3,81	3,81	3,81	253	3,65	3,7	3,68	272	258
F22	3,52	3,52	3,52	298	3,49	3,5	3,50	302	3,65	3,65	3,65	277	292
MEDIÇÕES OPERADOR 3													
	Calota - Operador 1				Calota - Operador 2				Calota - Operador 3				<i>MÉDIA FINAL</i>
	1 - a	1 - a	média	HB	2 - a	2 - a	média	HB	3 - a	3 - a	média	HB	
	0°	90°			0°	90°			0°	90°			
Aço estrutural	5,15	5,16	5,16	133	5,1	5,1	5,10	137	5,2	5,21	5,21	130	133
4130	3,98	4,13	4,06	222	4,07	4,06	4,07	221	4	4,13	4,07	221	221
liga nobre 316	3,83	3,8	3,82	252	3,69	3,77	3,73	265	3,93	3,87	3,90	241	253
F22	3,5	3,5	3,50	302	3,56	3,58	3,57	290	3,53	3,56	3,55	293	295

Fonte: Elaborado pelos autores

Concluída esta etapa, as peças foram encaminhadas ao setor de pintura da empresa Ômega, para aplicação do Dissulfeto de molibdênio. Finalizado o processo

de revestimento, os ensaios de dureza foram realizados novamente e toda a sistemática de medições e registros foi repetida (Quadro 2).

Quadro 2– Medições realizadas dos ensaios realizados após o processo de revestimento

PEÇAS COM REVESTIMENTO - 12/08/2017													
MEDIÇÕES OPERADOR 1													
	Calota - Operador 1				Calota - Operador 2				Calota - Operador 3				<i>MÉDIA FINAL</i>
	1 - a	1 - a	média	HB	2 - a	2 - a	média	HB	3 - a	3 - a	média	HB	
	0°	90°			0°	90°			0°	90°			
Aço estrutural	5,28	5,21	5,25	128	5,34	5,23	5,29	126	5,19	5,28	5,24	129	128
4130	4,02	4,02	4,02	226	4,04	4,04	4,04	224	4,04	4,04	4,04	224	225
liga nobre 316	3,8	3,74	3,77	259	3,9	3,91	3,91	240	3,66	3,71	3,69	271	257
F22	3,49	3,49	3,49	304	3,54	3,53	3,54	295	3,5	3,48	3,49	304	301
MEDIÇÕES OPERADOR 2													
	Calota - Operador 1				Calota - Operador 2				Calota - Operador 3				<i>MÉDIA FINAL</i>
	1 - a	1 - a	média	HB	2 - a	2 - a	média	HB	3 - a	3 - a	média	HB	
	0°	90°			0°	90°			0°	90°			
Aço estrutural	5,08	5,1	5,09	137	5,07	5,1	5,09	137	5,08	5,09	5,09	137	137
4130	4	4	4,00	229	4,07	4,06	4,07	221	3,97	3,96	3,97	232	227
liga nobre 316	3,8	3,8	3,80	255	3,94	3,84	3,89	242	3,77	3,75	3,76	260	252
F22	3,5	3,5	3,50	302	3,48	3,46	3,47	307	3,51	3,48	3,50	302	304
MEDIÇÕES OPERADOR 3													
	Calota - Operador 1				Calota - Operador 2				Calota - Operador 3				<i>MÉDIA FINAL</i>
	1 - a	1 - a	média	HB	2 - a	2 - a	média	HB	3 - a	3 - a	média	HB	
	0°	90°			0°	90°			0°	90°			
Aço estrutural	5,25	5,17	5,21	130	5,28	5,25	5,27	127	5,19	5,15	5,17	133	130
4130	3,97	4,1	4,04	224	4,06	4,01	4,04	224	4,01	4,01	4,01	228	225
liga nobre 316	3,73	3,75	3,74	263	3,83	3,83	3,83	250	3,92	3,71	3,82	252	255
F22	3,46	3,46	3,46	309	3,47	3,44	3,46	309	3,44	3,44	3,44	313	310

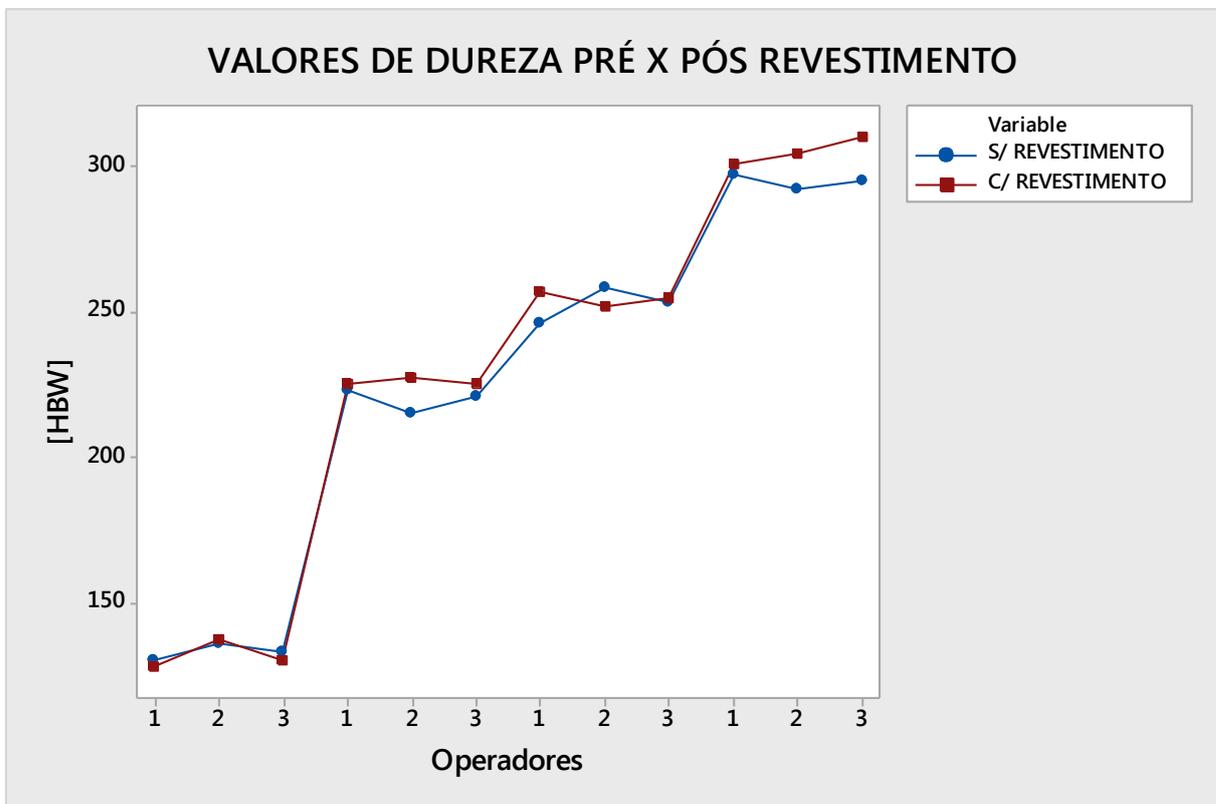
Fonte: Elaborado pelos autores

4 RESULTADOS

As medições registradas foram inseridas no software “Minitab” para avaliar a repetibilidade e reprodutibilidade do processo e assim verificar influência e interferência do revestimento de Dissulfeto de molibdênio na execução do ensaio de dureza pelo método Brinell.

Primeiramente, foi verificada a interação dos valores de dureza pré e pós revestimento, conforme Gráfico 1.

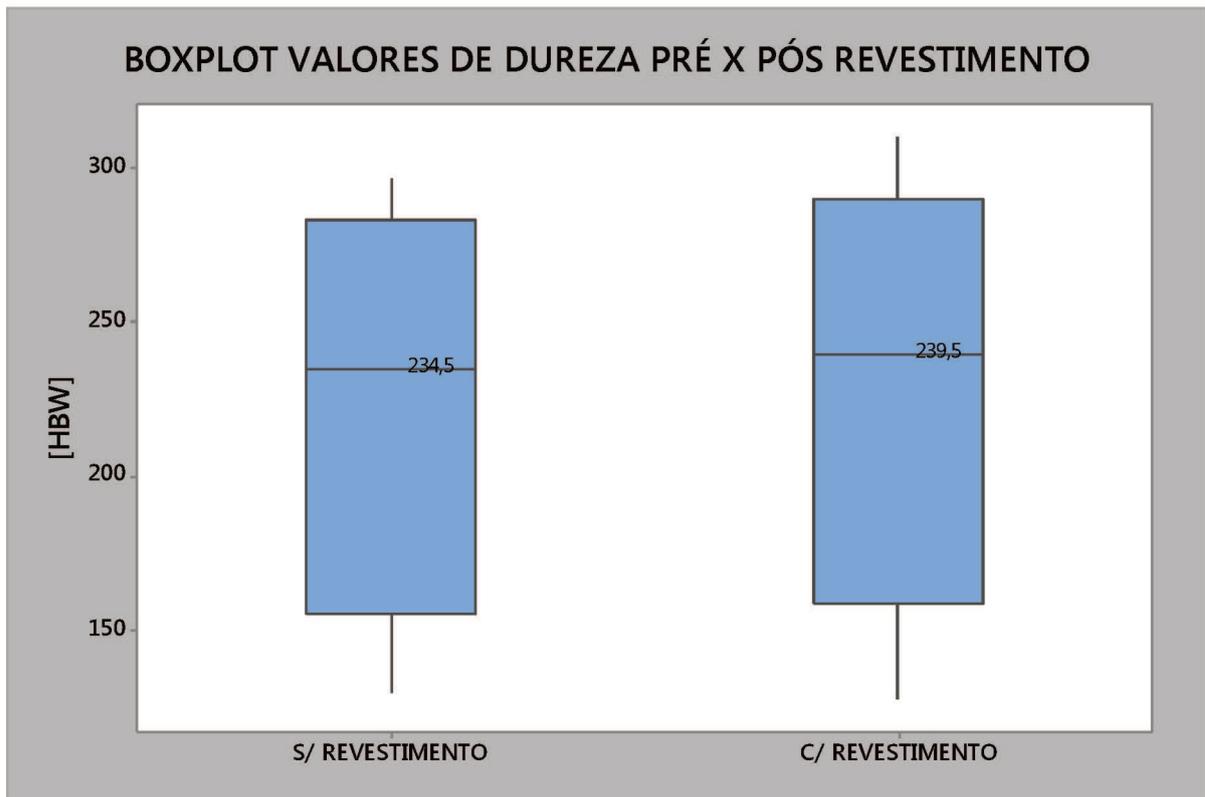
Gráfico 1 – Valores de dureza pré e pós revestimento



Fonte: Elaborado pelos autores

Pela distribuição de dados em um *boxplot* (Gráfico 2), ambos os processos de medição (com e sem revestimento) apresentaram amplitudes e centro de dados semelhantes.

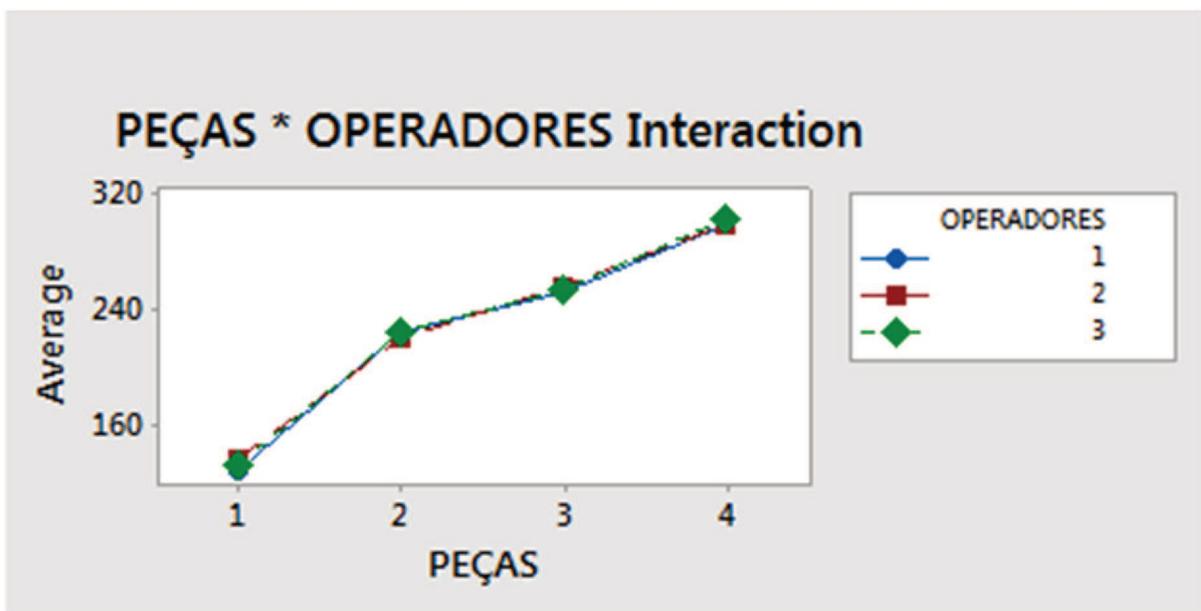
Gráfico 2 – Boxplot dos valores de dureza pré e pós revestimento



Fonte: Elaborado pelos autores

Houve excelente interação entre os ensaios e medições dos quatro operadores, conforme Gráfico 3.

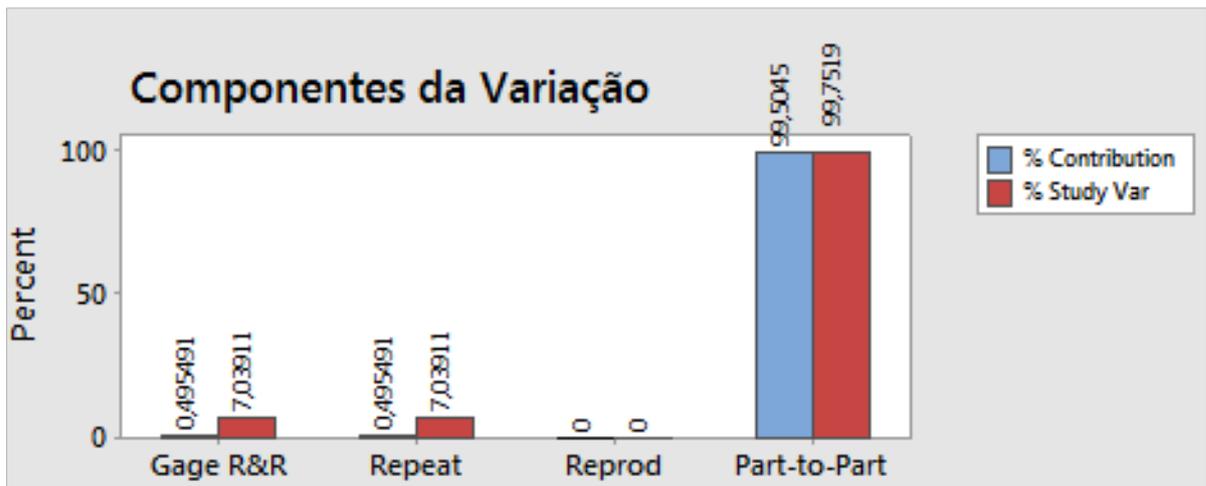
Gráfico 3 – Interação Peças * Operadores



Fonte: Elaborado pelos autores

Por fim, a partir do uso da ferramenta “Gage R&R Study”, o estudo de repetibilidade e reprodutibilidade indica que a variação tanto do processo de medição (operador) quanto as medições realizadas (instrumento de medição) nas peças com e sem revestimento é menor que 1%, conforme Gráfico 4.

Gráfico 4 – Componentes da Variação



Fonte: Elaborado pelos autores

5 CONCLUSÕES

Analisando-se o que se apresenta no Gráfico 2, referente ao *boxplot* dos valores de dureza pré e pós revestimento, tem-se uma precisa simetria entre os processos de medição.

Combinando-se esta análise com a constatação de que variação entre os operadores e o instrumento/processo de medição é mínima, e também considerando-se que se trata do uso do método Brinell para ensaio de dureza e do uso do “dissulfeto de molibdênio” para revestimento das peças analisadas, pertinentes à indústria de petróleo e gás, pode-se concluir que a camada de revestimento não causa interferências na execução do ensaio de dureza analisado, também não interferindo nos resultados de nenhuma das suas medições.

Finalizando, tem-se que a não-interferência do revestimento implica realmente em um novo entendimento sobre superfícies que são permitidas e recomendadas para a realização do ensaio de dureza pelo método Brinell e, desta forma, contribui efetivamente com as empresas do setor Petroquímico na redução de custos com retrabalho gerados devido à remoção e reaplicação do revestimento, eliminando-se também os atrasos devido ao tempo gasto para realização do ensaio e do tempo de cura do revestimento, o qual era reaplicado após o ensaio.

REFERÊNCIAS

- ALMENDRA, Antonio Carlos et al. **Soldagem**, Coleção Tecnologia Senai, 1997.
- BOMBONATTI, P.E. et al. **Determinação de dureza de ligas de cobre, na forma como são recebidas e após a fundição, em função das técnicas de fusão**. Revista de Odontologia da UNESP, p. 217-226, 1990.
- CAMARGO, RMT et al. 10 CAETANO, EF, SILVA, RM, LOPES, MAA, KUCHPIL, C. 1998.
- DEBEIR, J.C; DELÉAGE, J.P; HÉMERY, D. **Uma história da energia**. Brasília: Editora da UNB, p. 169-206, 1993.
- Instruções da Qualidade da empresa Ômega: Aplicação de Revestimento de Bissulfeto de Molibdênio. 2016
- KAHLMAYER-MERTENS et al. **Como elaborar projetos de pesquisa: linguagem e método**. Rio de Janeiro: FGV, 2007.
- LETA, Fabiana Rodrigues et al. **Medição de indentações de dureza com algoritmos de visão computacional e técnicas de decisão com incertezas**. Engevista, v. 6, n. 2, 2010.
- MARTINS, Jorge Santos. **Projetos de pesquisa, ensino e aprendizagem em sala de aula**. Campinas: Autores Associados, 2007.
- MORAIS, José Mauro de. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore**. 2013.
- NOIA – NATIONAL OCEAN INDUSTRIES ASSOCIATION. **History of Offshore**, 2006. Disponível em: <<http://www.noia.org/history-of-offshore/>>. Acesso em: 16 mai.2017.
- PETROBRAS **Somos a maior operadora mundial de equipamentos submarinos para águas profundas e ultraprofundas**. 14.Jan.2016. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados>>. Acesso em 16 mai.2017.
- REIS, Linda G. **Produção de monografia: da teoria à prática**. Brasília: SENAC, 2010.
- DE NEGÓCIOS, PLANO. Negócios 2006-2010. Revista Petrobras.
- RODRIGUES, Jorge; MARTINS, Paulo. **Tecnologia mecânica**. Tecnologia da Deformação Plástica, v. 1, 2005.
- SOARES, William Rodrigues. Relação entre microestrutura e propriedades mecânicas de tubos de aços utilizados no revestimento de poços e para condução de petróleo e gás. 2015.
- THOMAS, J. E. (Org). **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2. ed., RioDeJaneiro: PETROBRAS e Editora Interciência, 2004.
- THOMAS, Jerry R; NELSON, Jack K; SILVERMAN, Stephen J. **Métodos de pesquisa em atividade física**. São Paulo: Artmed, 2012.
- WYPYCH, Fernando. Dissulfeto de molibdênio, um material multifuncional e surpreendente. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 83-88, 2002.
- YERGIN, Daniel. **O Petróleo: Uma história mundial de conquistas, poder e dinheiro**. São Paulo: Editora Paz e Terra, 2010.
- YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001

