

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Revestimento anticorrosivo de válvulas: A sua importância e a dinâmica da análise do seu desempenho

André Koebsch^a, André Rasador^b, Douglas Gasparetto^c, Sandro Campos Amico^d

Abstract

The oil and gas industry interacts with extremely aggressive environments, requiring the use of high corrosion resistance materials. New exploratory frontiers for oil are open, with new techniques for extending the life cycle of mature fields producers, new refining techniques, operational situations and every time more severe conditions of aggressiveness to the products used for exploration. PETROBRAS, the main exploration company of Brazil, is searching revitalization of mature fields with the use of oil wells recovery techniques, with CO₂ injection, and produced water, among other methods that have aggressive characteristics with the presence of high corrosion elements. These methods generate the development of new materials for intern coating for equipment's accessories and industrial valves. The organic coating is characterized as the main alternative currently to the internal coating of these equipments and it has been specified in projects and increasingly used, mainly in the oil and gas segment. This study aims to demonstrate the importance of technology in the application of industrial valves, and proposes a methodology for dynamic analysis of product performance.

Keywords: organic coating, performance, test, validation.

Resumo

A indústria de petróleo e gás interage com ambientes extremamente agressivos, exigindo o uso de materiais com elevada resistência à corrosão. Abrem-se novas fronteiras exploratórias de petróleo, com novas técnicas de prolongamento da vida útil dos campos maduros produtores, novas técnicas de refino, situações operacionais e condições cada vez mais severas de agressividade aos produtos utilizados para exploração. A PETROBRAS, principal empresa de exploração do Brasil, vem buscando revitalização de campos maduros com utilização de técnicas de recuperação dos poços, com injeção de CO₂ e de água produzida, entre outros métodos que possuem características agressivas com a presença de elementos de alta corrosão. Estes métodos levaram ao desenvolvimento de novos materiais para revestimento interno de equipamentos acessórios e válvulas industriais. O revestimento orgânico caracteriza-se como a principal alternativa aplicável atualmente, para revestimento interno destes equipamentos e vem sendo especificado em projetos e utilizado de forma crescente, principalmente no segmento de óleo e gás. Este estudo pretende demonstrar a importância da aplicação desta tecnologia em válvulas industriais, bem como propor uma metodologia para análise dinâmica do desempenho do produto.

Palavras-chave: revestimento orgânico, desempenho, ensaios, validação.

^aEngenheiro de Equipamento Pleno - Revestimentos Anticorrosivos – PETROBRAS

^bGerente SGQ – GRUPO MICROMAZZA – Mestrando – Tecnologia de Mat. e Proc. Industriais -FEEVALE

^cMestrando, Eng. – PPGE3M - Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS

^d Prof., Ph.D. – PPGE3M - Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS

Introdução

As válvulas industriais são equipamentos relativamente simples do ponto de vista físico, porém se as falhas não forem prevenidas, tornam-se impactantes no processo de operação. Nos últimos anos, o projeto de válvulas industriais tem exigido um plano de sofisticação e de necessidades inovadoras. Grande parte dessa exigência surge do ramo petrolífero, que tem demarcado novas fronteiras em busca do crescimento tecnológico. As extrações de petróleo são cada vez mais arriscadas e desafiadoras, exigindo maquinário de última geração, que assegure confiabilidade e ótimo desempenho. Para que essa revolução ocorra é necessário conhecimento do pessoal envolvido, além de pesquisa e desenvolvimento.

Um aspecto muito importante a ser considerado em válvulas é a degradação das partes do produto que dependem da aplicação que o mesmo estará submetido. Os materiais apresentam algum tipo de interação com um grande número de ambientes diferentes e, com frequência, tais interações comprometem a utilidade de um material como resultado da deterioração de suas propriedades mecânicas, de outras propriedades físicas ou de sua aparência.

Uma das alternativas para o combate à degradação dos materiais aplicados em válvulas esferas envolve a aplicação de revestimentos anticorrosivos orgânicos. Os revestimentos protetores são películas aplicadas à superfície metálica que dificultam o contato da superfície com o meio corrosivo, objetivando minimizar a degradação da mesma pela ação do meio. Esta tecnologia possui uma excelente relação custo/benefício, pois reduz muito os custos de válvulas utilizadas em ambientes agressivos. As resinas utilizadas podem ser aplicadas sobre válvulas de aço carbono, evitando o uso de ligas metálicas especiais em diversas situações, ainda possibilitando uma maior vida útil ao equipamento e menor custo da válvula.

O objetivo deste trabalho é demonstrar a implementação de uma unidade de revestimento orgânico, acompanhada de todos os ensaios aplicados no revestimento, e a proposição de um modelo de análise dinâmica para válvula esfera industrial revestida

Metodologia

Características de Válvulas Industriais

Válvulas são acessórios de tubulações utilizados em um processo industrial para bloquear, direcionar, limitar a pressão de entrada do fluido, controlar a pressão de saída de algum equipamento ou permitir o escoamento do fluido num único sentido. O controle é realizado por meio de um elemento móvel que abre, fecha ou obstrui parcialmente a passagem (1)(2). Existem diversos tipos de válvulas industriais, mas neste estudo será somente abordada a válvula esfera industrial, que consiste em um obturador esférico dentro de um corpo tubular. A esfera tem uma passagem cilíndrica que, quando alinhada com a tubulação, permite o fluxo do fluido (3).

Dentre as características da válvula esfera estão à faixa de pressão na qual pode ser aplicada, abertura e fechamento rápidos, acionamento suave, e tamanho e peso reduzidos. Por outro lado, não são indicadas para trabalhos com fluidos que possuam partículas sólidas em suspensão, o material dos anéis de vedação, gaxetas e juntas limita o valor da pressão e temperatura do fluido com os quais ela opera (1) (2). características construtivas das válvulas

aqui referenciadas são estabelecidas por normas internacionais e nacionais, tais quais API6D e NBR 15827. A Figura 1a, apresenta uma válvula esfera montagem *trunnion* e suas partes principais a Figura 1b apresenta mesma válvula com seus componentes internos revestidos.

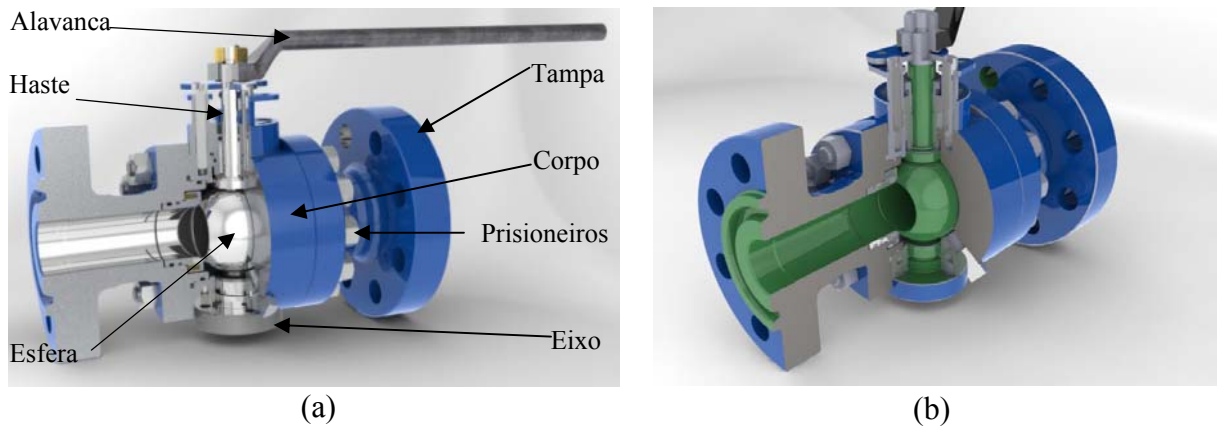


Figura 1: Válvula esfera tripartida *trunnion*, (a) representação de seus principais componentes (b) representação do revestimento interno de válvulas.

A análise correlacionando o fluido a que a válvula será submetida e o material de construção da mesma é de suma importância para um bom desempenho do produto e principalmente para garantir o tempo de vida útil da válvula. Essa relação está diretamente ligada com a deterioração do material pelo ataque do meio e das condições de exposição da válvula.

Características do revestimento protetor aplicado

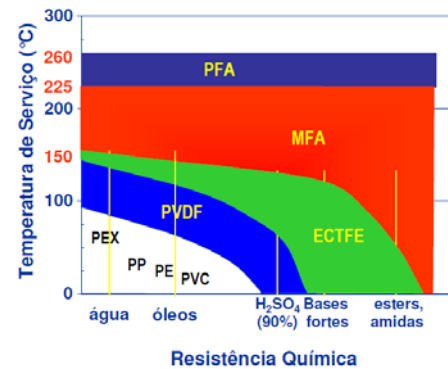
A interposição de uma barreira física entre o metal a ser protegido e o meio corrosivo (película protetora) é, sem dúvida, o processo mais importante e mais extensamente utilizado para se prevenir e evitar a corrosão de peças e equipamentos feitos de metais(4). O revestimento interno de válvulas industriais está sendo cada vez mais especificado em projetos, pois a combinação da resistência mecânica do aço com as propriedades anticorrosivas do revestimento não contaminam o fluido transportado e substitui a necessidade da utilização de ligas metálicas nobres (5)(6).

Devido à inércia química, polímeros de alto desempenho, como o PTFE e o ECTFE, são muito utilizados como revestimento interno de bombas, válvulas e tubulações que transportam fluidos altamente corrosivos(7). O etileno-cloro-trifluoretileno – ECTFE (Figura 2a) é um polímero de alto desempenho que tem como características principais: excelente resistência química (pH1-14), excelentes propriedades de barreira, boas propriedades elétricas, ampla faixa de temperatura de uso criogênico até 150°C, baixa propagação da chama, geração debaixa emissão de fumaça, excelente resistência ao impacto, boas propriedades mecânicas, excelente resistência à abrasão, baixo coeficiente de atrito e alta aderência ao substrato (8).

A Figura 2b, demonstra a relação entre temperatura de operação e resistência química do ECTFE e outros polímeros, nas principais aplicações industriais (9). Nota-se que o ECTFE pode ser aplicado na temperatura máxima de 150°C, sendo que dependendo do tipo fluido e concentração a temperatura de operação da válvula tende a cair, podendo chegar até a temperatura ambiente.



(a)



(b)

Figura 2: Estrutura molecular do ECTFE (a) e gráfico de temperatura de operação (b)

A PETROBRAS, a maior empresa na área de petróleo e gás que atualmente utiliza esta tecnologia para especificação de revestimento em válvulas industriais, exige que o revestimento tenha as características técnicas complementares apresentadas na Tabela 1(10).

Tabela 1 – Requisitos do revestimento aplicado a válvulas

Propriedades	Unidades	Valores Limites	Métodos de Ensaio
Tensão à ruptura	Mpa	mín. 41.4	ASTM D 638
Alongamento à ruptura	%	mín. 220	ASTM D 638
Absorção de água (20°C/24h)	%	máx. 0.01	ASTM D 570
Resistência à abrasão, perda de massa(CS 17/1000g com 1000 ciclos)	mg	máx. 20	ASTM D 4060
Imersão em meio de H ₂ S à 120°C	-	Ausência de falhas	(1)
Resistência à erosão	g/g	máx. 45	Jato areia à 45° e 90° e velocidade de 6,0 m/s
Empolamento a gás	-	Ausência de empolamento	API RP 5L2
Empolamento hidráulico	-	Ausência de empolamento	API RP 5L2

Notas: (1) Imersão em meio de H₂S:

- Tempo de ensaio: 2.000 horas;
- Temperatura: 90°C e 120°C;
- Pressão: P_{vap} da água na temperatura de ensaio;
- Composição da solução de ensaio:
 - Teor de Cloretos = 70.000 ppm
 - Teor de Acetato de Sódio = 21 g / L
 - pH inicial = 5 (ajuste com adição de HCL 37%)
 - Teor de H₂S = 4%

Estas características devem ser comprovadas através de ensaios realizados por laboratórios com competência comprovada. Toda a resina utilizada para revestimento de válvulas fornecidas a PETROBRAS devem ser homologadas através do atendimento das especificações citadas na Tabela 1.

Processo de Aplicação

A preparação da superfície metálica é uma importante etapa na execução de um revestimento anticorrosivo, influenciando diretamente o desempenho do revestimento (5). Esta possui dois grandes objetivos: remover da superfície, materiais que possam impedir o contato da tinta com a mesma e criar condições adequadas para boa aderência, incluindo um adequado perfil de rugosidade, capaz de permitir a ancoragem mecânica da primeira demão (4). A fim de eliminar quaisquer contaminantes, as peças devem ser submetidas a um pré-aquecimento a temperaturas entre 350°C e 400°C (temperatura do substrato metálico) durante 2 horas em estufa. A superfície a ser revestida deve ser submetida ao jateamento abrasivo até chegar ao metal branco, segundo a norma NACE No. 2/SSPC-SP10 ou, no mínimo, a uma das gravuras Sa 3 da norma ISO 8501-1. O perfil de rugosidade resultante deve estar entre 60 µm e 100µm (10).

As resinas adotadas neste estudo foram a Halar®6614 combinado com o Halar®6014, fabricados pela empresa Solvay Solexis, sendo um sistema Dual Layer, ou seja, uma camada do material Halar®6614 de aproximadamente 150 µm e o restante aproximadamente 250µm do Halar®6014. Este sistema permite uma maior adesão do revestimento ao substrato, sendo que o produto Halar 6614 possui melhores propriedades de adesão que Halar®6014.

A aplicação foi realizada por meio de equipamento aplicador eletrostático sobre a peça aquecida e curado em estufa (Figura 3). O aquecimento da válvula foi realizado através de processo térmico para assegurar a não contaminação do substrato. A temperatura de aquecimento da peça foi de 240°C a 270°C. A superfície revestida deve ter aparência homogênea e brilhante, um aspecto “empoeirado” indica falta de cura. A espessura de película seca do revestimento deve ser ≥ 400 µm.

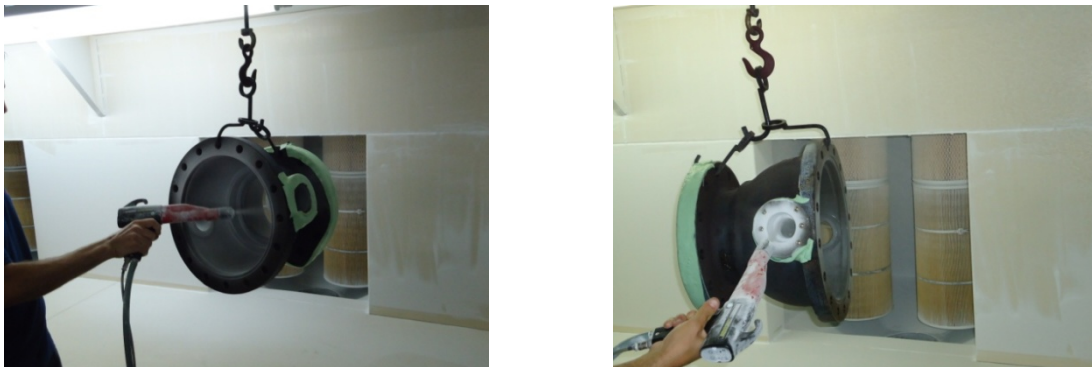


Figura 3: Aplicação do revestimento em corpo de válvula com pistola eletrostática

Após a aplicação do revestimento, os componentes devem ser novamente usinados para adequação das medidas do projeto original, mantendo a camada mínima especificada.

Para assegurar uma boa qualidade no revestimento, deve-se fazer uma série de medidas preventivas e controles, abrangendo todas as etapas do processo de revestimento, que cobre desde a especificação da matéria prima, compra e aplicação até os testes finais para aceitação a fim de liberar a peça ou equipamento para o seu uso previsto (5). Os ensaios aplicados no produto estão descritos na Tabela 2 do item Resultados e Discussões.

Resultados e Discussões

Através da contextualização dos conceitos descritos, foi implantado na unidade de fabricação de Válvulas do Grupo Micromazza, situada em Vila Flores/RS, um setor específico para aplicação e desenvolvimento do processo de revestimento interno em válvulas. A aplicação inicial e ensaios foram conduzidos em uma válvula esfera *trunnion* Ø4" CL600. O setor de revestimento orgânico foi estruturado visando à praticidade na produção e qualidade do produto final. A Figura 4 apresenta o fluxograma do processo de revestimento anti-corrosivo orgânico e a Figura 5 representa os principais equipamentos das instalações.

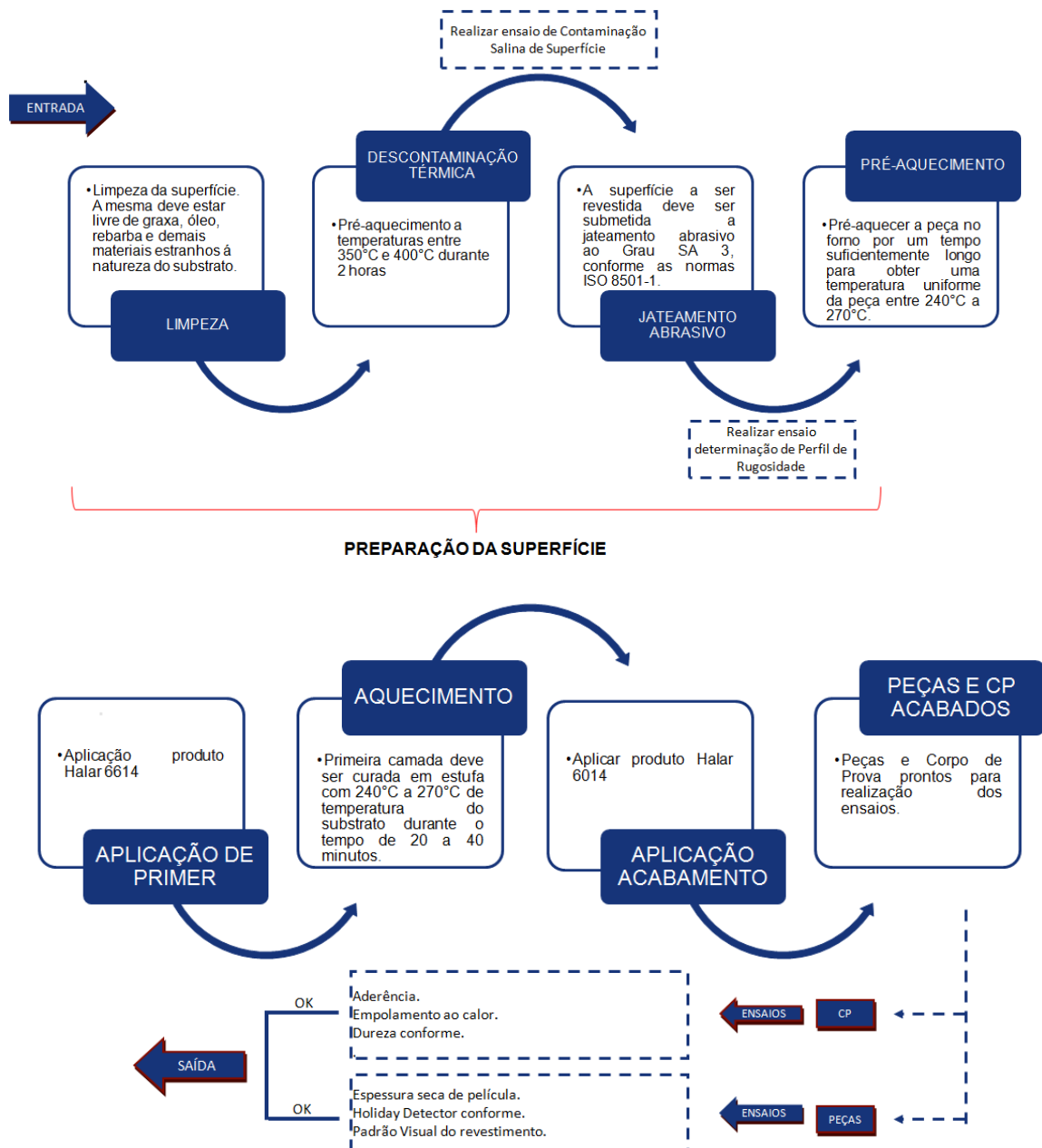


Figura 4: Fluxograma do processo de aplicação do revestimento orgânico em válvulas

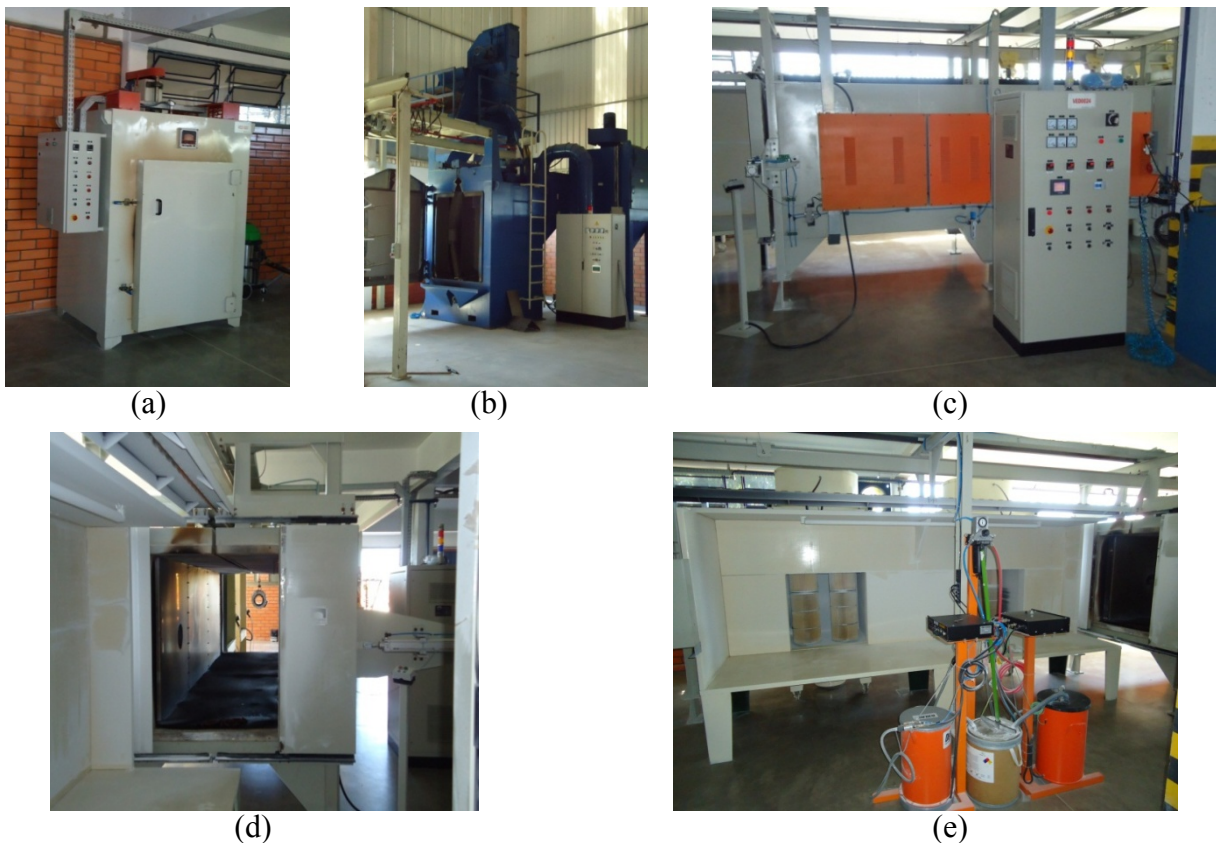


Figura 5: Imagens do processo de revestimento orgânico, (a) Forno para realização de descontaminação térmica, (b) Jato de granalha de aço rotativo, (c) e (d) Forno contínuo para aquecimento das peças e cura do revestimento, (d) Cabines para aplicação revestimento

A aplicação de revestimento foi realizada nos internos do corpo e tampa da válvula (Figura 6). As peças foram submetidas aos ensaios propostos na Tabela 2, apresentando resultado satisfatório. Cada ensaio é baseado em uma norma de referência e os critérios de aceitação são estabelecidos pelas especificações de clientes.

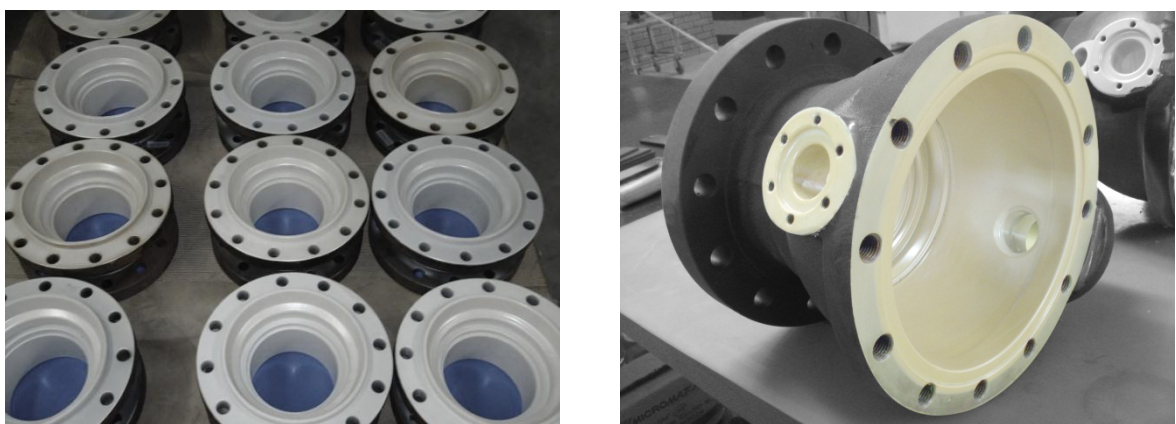


Figura 6: Imagem do revestimento aplicado em componentes de válvulas

Tabela 2 – Ensaios realizados no processo de revestimento e resultados

Item	Etapa da produção		Ensaios	Norma de Referência	Critério de aceitação	Resultados
1	PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE	ANTES JATEAMENTO	Contaminação Salina da Superfície	NACE N°5/SSPC-SP12	Máximo 2 µg/cm ²	1 µg/cm ²
2		APÓS JATEAMENTO	Visual do Preparo da Superfície	ISO 8501-1	Grau Sa3 da norma ISO 8501-1	Sa3
3			Perfil de Rugosidade	ASTM D7127:2005	Entre 60 e 100 µm	85µm
4			Contaminação por pó	ISO 8502-3	Máximo Figura 2 da ISO 8502-3	Figura 1
5	CONTROLE FINAL DO REVESTIMENTO APÓS APLICAÇÃO		Verificação Visual do Revestimento	Isento de defeitos	Isento de defeitos	Isento de defeitos
6			Espessura Revestimento	NBR 10443	A espessura da película seca do revestimento deve ser de no mínimo 400 µm.	700 µm
7			Descontinuidade	NACE RP0188	O numero de danos por válvula não deve ser maior do que dois (os mesmos devem ser reparados)	Isento de danos
8			Ensaio de Dureza	ASTM D2240	Mínimo deve ser de 75D (Shore).	78 Shore D
9			Empolamento ao Calor	Isento de defeitos	Isento de empolamento	Isento de defeitos
10			Aderência	ASTM D4541	Mínimo 15 MPa	20 Mpa YZ
11	CONTROLE FINAL DO REVESTIMENTO APÓS USINAGEM		Espessura Revestimento	NBR 10443	A espessura da película seca do revestimento deve ser de no mínimo 400 µm nas regiões que foram usinadas.	500 µm
12			Descontinuidade	NACE RP0188	O número de danos por válvula não deve ser maior do que dois (os mesmos devem ser reparados)	Isento de danos

Verificou-se na implementação da unidade e na validação dos processos por meio da realização dos ensaios propostos, que o revestimento atendeu as expectativas projetadas. A experiência de aplicação e o domínio tecnológico com relação ao produto, tendo o conceito de vida útil estabelecida pela NBR15827, permitiram observar que os ensaios aplicados ao revestimento orgânico são estáticos, comprovando o bom desempenho do mesmo nesta condição, porém foi constatada a necessidade de se realizar estudos dinâmicos com relação ao produto válvula esfera revestida.

Baseado no modelo proposto pela norma NBR 15827, estabelece uma quantidade mínima de ciclos (abertura e fechamento), sendo que após a realização destes ensaios a válvula deve ser

desmontada e nenhuma falha pode ser observada nos seus componentes, principalmente nas regiões onde o revestimento foi aplicado.

A Figura 7, extraída da NBR 15827, demonstra a quantidade de ciclos que as válvulas devem ser submetidas. O número total de ciclos está relacionado com o diâmetro nominal das válvulas.

Diâmetro nominal DN (NPS)	Estimativa de uso para 20 anos		Ciclagem nos ensaios de protótipo			
	Número de ciclos		Quantidade de protótipos e número de ciclos			Confiabilidade (em 10 anos de vida útil)
	Mínimo	Máximo	Mínimo de protótipos	Ciclo mínimo por protótipo	Total de ciclos	
15 a 40 (½ a 1 ½)	500	5 000	5	1 000	10 000	98 %
50 a 150 (2 a 6)	100	200	2	500	2 000	98 %
200 a 300 (8 a 12)	50	100	1	250	1 000	98 %
350 a 600 (14 a 24)	50	100	1	250	500	95 %
> 600 (>24)	50	100	1	250	500	95 %

Figura 7: Dados de ciclagem de válvulas para validação de projetos

A proposta de realização dos ensaios em válvulas revestidas, garante a confiabilidade do projeto original sem revestimento, fazendo com que o produto tenha a mesma vida útil projetada. Os ensaios dinâmicos devem ser realizados em bancadas específicas para uma boa execução dos ensaios normativos do produto, bem como da simulação de temperaturas de operação mínima e máxima que a válvula pode operar. A Figura 8 apresenta uma bancada para ensaio dinâmico, onde a válvula é submetida a temperaturas desde criogênicas (Figura 8a) até 150°C (Figura 8b).



(a)



(b)

Figura 8: Bancadas para ensaios dinâmicos de válvulas esferas, (a) temperaturas criogênicas (b) temperatura 150°C

Os ensaios dinâmicos propostos por este trabalho não apresentem resultados práticos, sendo uma proposição para futuros trabalhos. Esta condição foi sugerida para válvulas com seus internos totalmente revestidos, garantindo assim a vida útil projetada para o produto.

Conclusão

Com a criação de um setor de aplicação de revestimento interno em válvulas esfera e o estabelecimento do processo, foram adquiridos os conhecimentos sobre o comportamento do mesmo, e estabeleceu-se uma relação com desempenho do produto válvula revestida. Os ensaios definidos permitiram que se obtivesse o aprimoramento sobre a aplicação e o domínio tecnológico do processo.

Os processos descritos e praticados foram definidos conforme especificações técnicas de conceituados fabricantes de resinas para revestimento e dos principais clientes que utilizam esta tecnologia no Brasil, com foco na manutenção das características do projeto de fabricação. Os resultados da aplicação e dos ensaios dos componentes corpo e tampa de uma válvula esfera industrial Ø4" CL600 *trunnion* foram considerados satisfatórios para proposta de revestimento de peças de válvulas, que não possuem características mecânicas de movimento.

A condição de aplicação e proposição de um modelo dinâmico baseou-se no estudo de projetos de válvulas industriais e das características de validação deste produto para manutenção das condições de vida útil com adoção da norma NBR15827, aliada à aplicação de revestimento interno orgânico.

Por fim é possível verificar que a condição da manutenção de todos os ensaios estabelecidos para revestimento na condição estática é de vital importância para manutenção da integridade do revestimento para posterior adoção de um modelo que propicie o estudo do comportamento do mesmo sob condições mecânicas de movimento. A proposição de um modelo de análise estático complementado por modelo dinâmico teve sua condição confirmada neste estudo para válvula esfera industrial.

Referências Bibliográficas

1. MATHIAS, A. C. *Válvulas: Industriais, segurança, controle: tipos, seleção, dimensionamento*. São Paulo : Artliber Editora, 2008.
2. SILVA, Osmar José Leite da. *Válvulas Industriais*. Rio de Janeiro : Qualitymark, PETROBRAS, 2008.
3. COOLEY, D. C., & SACCHETTO, L. P. *Válvulas industriais: teoria e prática*. Rio de Janeiro : Interciência Ltda, 1986.
4. NUNES, Laerce de paula e LOBO, Alfredo Carlos O. *Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva*. Rio de Janeiro : Interciência, 2007.
5. FURTADO, Paulo. *Pintura Anticorrosiva dos Metais*. Rio de Janeiro : LTC, 2010.
6. METALCOATING. *Soluções anticorrosivas para a industria de óleo & gás*. Folheto de divulgação.

7. GENTIL, Vicente. *Corrosão*. Rio de Janeiro : LTC, 2011.
8. Halar® ECTFE. *Typical properties*. s.l. : Solvay Solexis, 2006.
9. —. *Revestimento por pintura eletrostática*. s.l. : Solvay Solexis, 2011. Apresentação do produto realizada na empresa Micromazza Industria de Válvulas, Vila Flores/RS.
10. ET-940-PEN-006. *Revestimento interno anticorrosivo para válvulas*. Rio de Janeiro : PETROBRAS, 2011. Especificação Técnica (Revisão C).
11. NACE N° 2/SSPC-SP10. *Surface Preparation Specification n° 10, Near-White Metal Blast Cleaning*. s.l. : NACE, 2007.
12. API 6D. *Specification for Pipeline Valves*. Washington : API - American Petroleum Institute, 2008.
13. NBR 15827. *Válvulas industriais para instalações de exploração, produção, refino e transporte de produção de petróleo - Requisitos de projeto e ensaio de protótipo*. Rio de Janeiro : ABNT, 2011.
14. NACE N° 5/SSPC-SP12. *Surface Preparation and Cleaning of Steel and Other Hard Materials by High and Ultrahigh-Pressure Water Jetting Prior to Recoating*. s.l. : NACE, 2002.
15. ASTM D 7127. *Standard Test Method for Measurement of Surface Roughness of Abrasive Blast Cleaned Metal Surfaces Using a Portable Stylus Instrument*. s.l. : ASTM, 2005.
16. ISO 8502-3. *Preparation of steel substrates before application of paint and related products - Test for the assessment of surface cleanliness - Part 3 - Assessment of dust on steel surfaces prepared for painting (pressure-sensitive tape method)*. s.l. : ISO, 1992.
17. NACE RP 0188. *Testing of New Protective Coatings on Conductive Substrates*. s.l. : NACE, 1999.
18. ASTM D 2240. *Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*. s.l. : ASTM, 2005.
19. ASTM D4541. *Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*. s.l. : ASTM, 2009.
20. NBR 10443. *Tintas e vernizes - Determinação da espessura da película seca sobre superfícies rugosas - Método de ensaio*. Rio de Janeiro : ABNT, 2008.
21. ISO 8501-1. *Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness: Part 1*. s.l. : ISO, 2007.
22. ASTM D638. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. s.l. : ASTM, 2010.
23. ASTM D4060. *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser*. s.l. : ASTM, 2010.
24. API RP 5L2. *Recommended Practice for Internal Coating of Line Pipe For Non-Corrosive Gas Transmission Service*. s.l. : API, 2002.
25. ASTM D570. *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. s.l. : ASTM, 2010.

Agradecimentos

Agradecemos ao Grupo Micromazza pela disponibilidade de informações a respeito de seu novo processo de Revestimento Orgânico e a incessante transferência de conhecimentos realizada pela PETROBRAS.