

## CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTO DE NbAl, ASPERGIDO TERMICAMENTE, EM AÇO AUSTENÍTICO<sup>1</sup>

Marcos Antonio Cardozo<sup>2</sup>  
Ramón Sigifredo Cortés Paredes<sup>3</sup>  
Carolina Mariano<sup>4</sup>  
Emillyn Ferreira Trevisani Olivio<sup>5</sup>  
Gustavo Bavaresco Sucharski<sup>6</sup>  
Lucas Alan de Aguiar<sup>6</sup>

### Resumo

A seleção de tubos para a maior parte dos sistemas de processamento primário de petróleo é determinada considerando-se os carregamentos durante a instalação e a operação, em adição às tensões resultantes da tração e pressão, aliada aos mecanismos de corrosão nos tubos. O fenômeno da corrosão, nestes tubos, é comumente caracterizado como a deterioração do metal por uma ação combinada de fatores mecânicos, químicos ou eletroquímicos, que, uma vez iniciada, tende a continuar com progressiva intensidade, levando à deterioração do metal pela corrosão marinha. Uma alternativa, para aumentar a resistência à corrosão, é modificar a superfície do material por meio da aplicação de um revestimento constituído de materiais mais nobres, visando aumentar a sua durabilidade e resistência ao meio corrosivo. Dentre os metais, o nióbio e alumínio foram selecionados para formar os revestimentos neste estudo devido a características como formação de um fino filme, quando exposto a umidade, sendo altamente resistente ao pite. Assim este trabalho procura, demonstrar a viabilidade da fabricação de revestimentos com misturas de NbAl, por meio da aspersão térmica à chama pó, com a finalidade de inibir a corrosão, para aços austeníticos submetidos à corrosão marinha; caracterizados através MEV, DRX e ensaio de dobramento; o que hoje é uma lacuna em termos de bibliografias que relatam os problemas de corrosão e revestimentos metálicos.

**Palavras-chave:** Aspersão térmica; Revestimentos metálicos; Processo de aspersão com chama; Corrosão.

### CHARACTERIZATION OF NbAl COATINGS THERMALLY SPRAYED IN AUSTENITIC STEEL

#### Abstract

The selection of pipes for most systems of primary processing of oil is determined considering loads during installation and operation, in addition to the stresses resulting from tensile and pressure, allied to the corrosion mechanisms in the pipes. The phenomenon of corrosion in these pipes is commonly characterized as the deterioration of metal by a combined action of mechanical, chemical or electrochemical factors, which, once started, tends to remain with progressive intensity, leading to the deterioration of the metal by marine corrosion. An option to increase the corrosion resistance is modifying the material surface by applying a coating consisting of more noble materials, in order to increase its durability and resistance to corrosive environment. Among the metals, niobium and aluminum were selected for forming the coatings in this study due to characteristics such as the formation of a thin film when exposed to humidity, being highly resistant to pitting formation. So this paper demonstrates the viability of manufacturing coatings with mixtures of NbAl, by Flame Powder Spray in order to inhibit corrosion in austenitic steels submitted to marine corrosion; they were characterized by SEM, XRD and bending test, what today is a gap in terms of bibliographies who report problems of corrosion and metal coatings.

**Keywords:** Thermal spray; Metallic coatings; Flame powder spray process; Corrosion.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Administração. Doutorando em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba, Paraná, Brasil.

<sup>3</sup> Engenharia Mecânica. Dr. Professor Adjunto na UFPR. Curitiba, Paraná, Brasil.

<sup>4</sup> Engenharia de Materiais. Doutoranda. Engenharia e Ciência dos Materiais (UFPR). Curitiba, Paraná, Brasil.

<sup>5</sup> Tecnologia de Manutenção Mecânica. Doutoranda em Engenharia Mecânica (UFPR). Curitiba, Paraná, Brasil.

<sup>6</sup> Engenharia Mecânica. Doutorando em Engenharia Mecânica (UFPR). Curitiba, Paraná, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

No início da década de 70, devido principalmente à crescente demanda por instalação de linhas de exploração e a idéia da possibilidade de perda de linhas submersas devido à propagação de um eventual dano local, surgiram às primeiras pesquisas sobre o fenômeno do colapso propagante em dutos. O fenômeno foi então observado e estudado por pesquisadores durante testes experimentais em modelos em escala reduzida de tubos sob carregamento combinado, com o objetivo de conhecer os principais parâmetros que o regem e buscar mecanismos para deter a propagação da falha.<sup>(1)</sup>

Corrosão sob tensão (CST) é um termo usado para descrever o efeito simultâneo das tensões mecânicas e do meio corrosivo que levam à deterioração de materiais suscetíveis. Para ocorrer CST três condições devem ser satisfeitas simultaneamente: um meio corrosivo, um material suscetível e um componente de tensão, além de um tempo suficiente para que o fenômeno ocorra.<sup>(2)</sup>

De uma forma geral, não existe um meio corrosivo padrão que cause trincamento por CST nos diversos materiais, sendo necessária uma combinação metal-meio. Os aços inoxidáveis austeníticos são particularmente susceptíveis à CST em meios contendo cloretos; condições em que normalmente, as tubulações usadas estão submetidas.<sup>(3)</sup>

Uma alternativa, para aumentar a resistência à corrosão, é modificar a superfície do material por meio da aplicação de um revestimento constituído de materiais mais nobres, visando aumentar a sua durabilidade e resistência a um meio mais agressivo.<sup>(2)</sup>

O revestimento metálico, anódico em relação ao aço, além de ser uma barreira ao ataque do meio agressivo exerce a função de proteção catódica a esse material.<sup>(4)</sup>

O sistema NbAl vem despertando grande interesse para aplicações em meios corrosivos. Estudos dos mais diversos tipos vêm sendo realizados no sentido de compreender melhor este sistema, como por exemplo, identificar propriedades termodinâmicas e verificar mecanismos de fratura.<sup>(5)</sup>

Este artigo procura, estudar a viabilidade de se produzir revestimentos de NbAl com espessura adequada e aderentes ao substrato; visando comprovar que a liga, processo e parâmetros atendem aos requisitos mínimos, para obtenção de um revestimento adequado, para conter o fenômeno da CST.

Assim a avaliação da variação de espessura, aderência e quantificação de poros são necessárias para validar o estudo realizado até o presente momento.

### 1.1 Revisão da Literatura

O petróleo extraído do fundo do mar não apresenta apenas o óleo bruto. Normalmente se verifica a presença de muitos sedimentos, partículas inorgânicas, gás e sais. Estas substâncias prejudicam o transporte do petróleo até as refinarias, além de serem consideradas nocivas aos equipamentos de processo, de tal forma que se faz necessário um tratamento “in loco”, logo após a extração.<sup>(6)</sup>

Assim nos próprios campos de produção (plataformas) é realizado um tratamento que consiste na separação gás-óleo-água, através de decantação e desidratação, sendo a etapa de separação da água a mais complicada e importante do processo; já que a presença de água contribui para a ocorrência de corrosão, formação de hidratos e aumento da viscosidade pode dificultar o escoamento. Por outro lado, a energia térmica aumenta com a temperatura favorecendo a movimentação das gotas

de água. Desta forma, ocorre um aumento na frequência de colisão das gotas e conseqüentemente na probabilidade de ocorrer à corrosão.<sup>(7)</sup>

A substituição de um material específico por outro material mais resistente constitui-se uma opção muitas vezes inviável. Uma solução seria investir no desenvolvimento de métodos mais eficientes de prevenção da corrosão, que evitaria a ocorrência de processos corrosivos e permitam sua inibição imediata.

No estudo dos processos corrosivos, devem ser sempre consideradas as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo e das condições operacionais, pois o estudo conjunto dessas variáveis permitirá indicar o material mais adequado para ser utilizado em determinados equipamentos ou instalações.<sup>(8)</sup>

### 1.1.1 Revestimento

Revestimento é um isolamento do material do meio corrosivo. O revestimento metálico pode ser definido como sendo a deposição de uma liga metálica em uma superfície para obter as propriedades desejadas.<sup>(9)</sup>

De acordo com Carvalho<sup>(10)</sup> a função principal do revestimento protetor é de isolar elementos estruturais reativos de ambientes que possam degradar sua superfície. Assim o revestimento deve oferecer uma barreira continua a um substrato, pois qualquer imperfeição poderá transformar-se em um ponto localizado para degradação.

Uma das quatro formas de proteção contra a corrosão é por meio de aplicação de revestimentos metálicos. Dois tipos de revestimentos desta natureza podem ser utilizados: os catódicos ou nobres e os de anódicos e os de sacrifício. Os anódicos são preferidos quando o único requisito é a proteção contra corrosão e no meio de exposição o metal de revestimento apresenta baixa taxa de corrosão. Os catódicos são utilizados quando se deseja conferir, além da proteção contra corrosão, uma ou mais propriedades adicionais ao revestimento, tais como condutividade elétrica e resistência à abrasão.<sup>(11)</sup>

Os substratos sobre os quais os revestimentos termicamente aspergidos podem ser aplicados incluem metais, óxidos, cerâmicos, vidros, a maioria dos plásticos e madeira. Nem todos os materiais podem ser aplicados a qualquer tipo de substrato. Uma preparação adequada deste é necessária antes da aspersion propriamente dita, independentemente do processo a ser usado. Essa preparação consiste de duas etapas básicas: limpeza da superfície para eliminar contaminantes e obtenção de rugosidades para aumentar a área superficial e melhorar a adesão.<sup>(12)</sup>

Marques<sup>(12)</sup> ressalta que a ligação ou adesão entre revestimento e substrato pode ser mecânica, química e/ou metalúrgica e é influenciada por diversos fatores, tais como: material do revestimento, condição do substrato, rugosidade, limpeza e temperatura da superfície a ser revestida, antes e durante o processo e velocidade de impacto das partículas.

Os revestimentos são formados pelo impacto, deformação e rápida solidificação das partículas, formando uma estrutura lamelar. As menores partículas fundidas projetadas com energia cinética elevada tem uma maior molhabilidade e deformam-se mais facilmente no impacto aumentando a densidade do revestimento e reduzindo a porosidade. No entanto, ao possuir uma maior relação área superficial/volume reagem mais facilmente com o oxigênio e oxidam mais que as partículas de tamanhos maiores. Por outro lado, as partículas menores têm uma maior velocidade, um menor tempo de voo e menores tempos para a reação de oxidação. Então, pode-se afirmar que uma correta seleção dos parâmetros de

aspersão pode ocasionar uma maior ou menor quantidade de poros e óxidos presentes no revestimento, além da espessura adequada.<sup>(9)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho estudou a viabilidade da deposição por aspersão térmica, com o processo a chama oxiacetilênica, da liga de NbAl para o revestimento do aço AISI 304L. Para avaliar a influência das variáveis foi utilizado o planejamento experimental, seguindo a metodologia de Taguchi. Optou-se, então por selecionar um arranjo ortogonal padrão L9, que permite a realização de 9 experimentos com 2 níveis cada um e 4 repetições.<sup>(13)</sup>

Do resultado, avaliou-se a espessura, aderência e porosidade, para posteriormente avaliar o comportamento desses revestimentos depositados frente à corrosão sob tensão; utilizando os melhores parâmetros.

### 2.1 Metal de Base

Foi utilizado o aço austenítico AISI 304L, por tratar-se de um dos materiais mais utilizados na fabricação de tubulações sujeitas à corrosão.<sup>(2)</sup>

### 2.2 Preparação da Mistura

O processo de peneiramento automático foi realizado com equipamento CT-025 da marca Vibrotech.

A proporção de 50wt%Nb50wt%Al; foi determinada previamente através do diagrama de NbAl, onde esta composição favorece a formação de NbAl<sub>3</sub>. Os intermetálicos NbAl<sub>3</sub> (trialumineto de nióbio) apresentam elevada resistência mecânica. Estas características mostram o grande potencial deste composto para aplicações envolvendo a CST.

O alumínio e nióbio em pó, utilizados apresentaram granulometria entre 150 e 180 µm. Esta uniformidade do diâmetro é ideal, pois se observa uma relação de redução na quantidade de óxidos formados com o aumento do diâmetro das partículas aspergidas, ou seja, uma diminuição da relação da área superficial/volume.

### 2.2 Preparação dos Corpos de Prova

Foram cortados 36 (trinta e seis) corpos de prova para o processo de aspersão térmica, com as dimensões seguindo as recomendações da Norma Petrobrás N2568.<sup>(14)</sup>

Após a limpeza do substrato foi realizado o jateamento abrasivo com óxido de Al branco (granulometria 30 / Alundum 38 A), com pressão de 100 psi e distância 100 mm em câmara de jateamento CMV. O grau de limpeza Sa3 foi obtido por comparação com os padrões de qualidade superficial publicados pela, Petrobrás N2568<sup>(14)</sup> e Norma NACE RMN – 0170.<sup>(15)</sup> Após o jateamento as peças foram colocadas em estufa a 60°C (±5°C) por 48 horas e retiradas no momento da deposição.

Os corpos de prova para as análises metalográficas, microscopia eletrônica e difratometria de raios-x, após o processo de deposição da liga, foram cortados com as dimensões de 10 x 10 x 1,25 mm.

### 2.3 Deposição do Revestimento

O equipamento utilizado foi a pistola utilizada foi da marca da marca Sulzer Metco, com a pistola modelo 6P-II. Este equipamento está disponível no Laboratório de Aspersão Térmica da UFPR.

A definição dos parâmetros ocorreu através de recomendações do fabricante, Suzer Metco, com relação ao potencial máximo do equipamento.

**Tabela 1:** Parâmetros do processo a chama

PARÂMETROS	VALORES
Fluxo de Oxigênio	80 scfh
Fluxo de Acetileno	35 scfh
Fluxo de Nitrogênio	15 scfh
Pressão de Oxigênio	30 psi
Pressão de Acetileno	57 psi
Pressão de Nitrogênio	40 psi
Taxa de Alimentação	20-25 g/min
Número de Passes	4
Distância da pistola	100 mm – 150 mm – 250 mm
Ambiente	25°C
Pré-aquecimento	200°C
Pós-aquecimento	200°C

### 2.4 Medição da Espessura

A espessura foi medida com micrômetro da marca Mitutoyo, com capacidade de 0 a 25 mm. Foram realizadas 6 medições, com distâncias equidistantes para cada corpo de prova.

### 2.5 Ensaio de Dobramento

De forma geral, pode-se afirmar que as propriedades físicas e o comportamento mecânico de um depósito aspergido dependem da aderência entre as lamelas e o substrato, da resistência coesiva entre as lamelas, do tamanho e morfologia dos poros, da presença de trincas e da microestrutura das lamelas.<sup>(14)</sup>

Algumas reflexões sugerem que a aderência é muito fortemente do comportamento elástico e plástico dos materiais, conjugados com a resistência mecânica dos mesmos. Esta é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas que varia conforme sua microestrutura e pela presença de defeitos, como poros e trincas, típicos de revestimentos aspergidos termicamente, o que, entretanto, varia de revestimento para revestimento.<sup>(2)</sup>

Respaldado na norma Petrobrás N-2568,<sup>(14)</sup> o ensaio de dobramento, para qualificação do processo de deposição por aspersão térmica, consiste no dobramento de corpos-de-prova apoiados em cutelos ou livres num ângulo total de 180°.

O ensaio foi realizado em 12 amostras revestidas com nióbio e alumínio com dimensões de 1,25x50x75 mm. A velocidade de avanço de 1,25x10E-3 m/s, diâmetro do cutelo 13 mm, diâmetro de apoios de 32 mm, distância entre apoios de 22 mm e ângulo de dobramento de 180°.<sup>(14)</sup>

Os critérios para aceitação do depósito do revestimento, sendo aceitáveis revestimentos sem defeitos aparentes após o dobramento e rejeitáveis revestimentos que apresentem deslocamentos e grandes fendas no revestimento aspergido.<sup>(14)</sup>

## **2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura**

Para identificar as características da morfologia dos revestimentos aspergidos pelo processo a chama oxiacetilênica, foi utilizada a análise microscopia eletrônica de varredura (MEV) em 9 amostras revestidas. Foram analisadas somente as amostras com distância da pistola de 150 mm. Os corpos de prova utilizados na análise de MEV foram apenas seccionados para obtenção de amostras com tamanho adequado e, não foram lixados ou polimentos. As superfícies observadas não foram atacadas quimicamente e as imagens foram produzidas por elétrons secundários e também por retroespalhados.

Para a obtenção de micrografias, foi utilizado o equipamento Phillips, modelo XL30, no LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento.

O programa Image Pro-Express foi usado para calcular a espessura e tonalizar em cinza as fotos feitas no microscópio e o software Clemex Version 3.5 foi utilizado para quantificar os poros e vazios. A melhor qualidade dos revestimentos foi verificada através da quantidade de poros existentes.

Os percentuais volumétricos da porosidade dos revestimentos foram quantificados percentualmente através de contagem, auxiliado pelo analisador de imagens modelo analySIS 2.0 marca Users Guide.

## **2.7 Difratomia de Raios-x**

As fases presentes nos revestimentos aspergidos foram analisadas qualitativamente por DRX (Difração de Raios-X). O ensaio de raios-x foi realizado em um difratômetro de raios-x Shimadzu, modelo XRD - 6000, com monocromador Cu  $\alpha$  com comprimento de onda de 1,54 nm, do Departamento de Física da Universidade Federal do Paraná. A tensão de trabalho foi de 40 kV, com corrente de 30 mA. A varredura foi realizada entre os ângulos de 20° e 120°, com velocidade de varredura de 2°/min e passo de 0,02°. Foram analisadas somente as amostras com distância da pistola de 150 mm.

# **3 RESULTADOS**

## **3.1 Medição da Espessura**

Foram medidas todas as amostras aspergidas, e os resultados estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

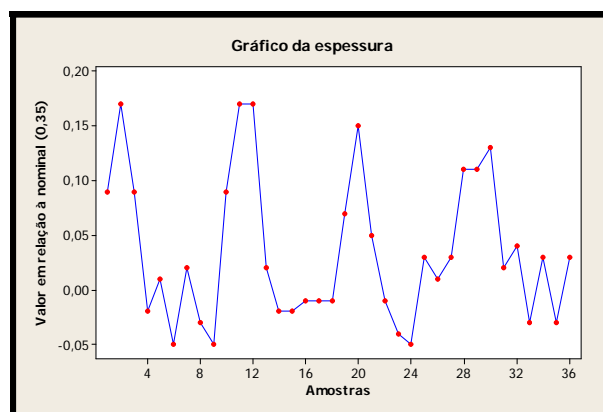
**Tabela 2:** Resultado das espessuras dos revestimentos

ESPESSURA												
DISTANCIA	AMBIENTE				PRÉ-AQUECIMENTO				PRÉ E PÓS-AQUECIMENTO			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	0,44	0,44	0,42	0,46	0,52	0,52	0,50	0,46	0,44	0,52	0,4	0,48
150	0,33	0,37	0,34	0,37	0,36	0,33	0,31	0,39	0,30	0,33	0,30	0,32
250	0,37	0,34	0,38	0,38	0,32	0,34	0,36	0,32	0,30	0,34	0,38	0,38

**Tabela 3:** Resultado do desvio padrão das espessuras dos revestimentos

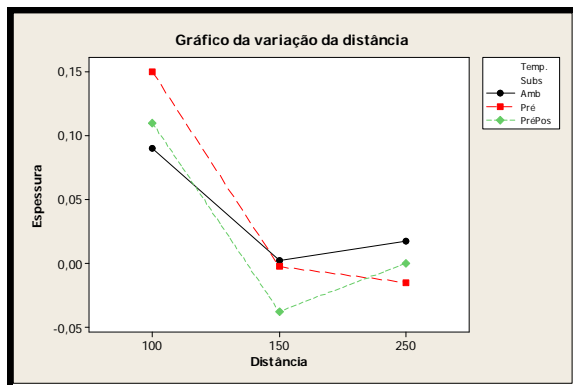
DESVIO PADRÃO												
DISTANCIA	AMBIENTE				PRÉ-AQUECIMENTO				PRÉ E PÓS-AQUECIMENTO			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	-	0,00	0,03	0,04	0,06	0,00	0,02	0,04	0,02	0,08	0,12	0,08
150	-	0,04	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,08	0,09	0,03	0,03	0,02
250	-	0,03	0,04	0	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0

A Figura 1 mostra a variação da espessura nas 3 distâncias utilizadas.

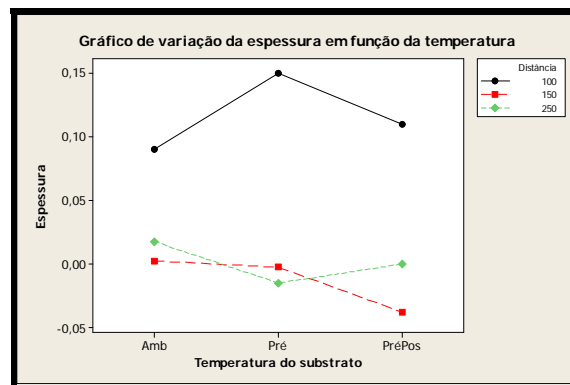


**Figura 1:** Gráfico da variação da espessura dos revestimentos.

A Figura 2 mostra o estudo, utilizando o método de Taguchi, para a análise da distância que mais se aproxima do valor nominal da espessura e melhor temperatura em função da espessura esperada.



a) Variação da distância.

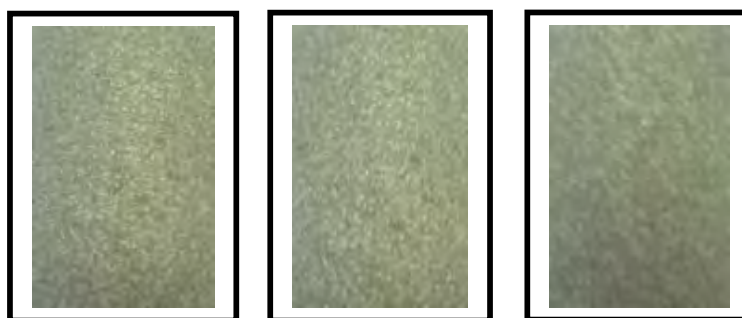


b) Variação da espessura.

**Figura 2:** Gráficos da variação da distância e espessura em função da temperatura.

### 3.2 Teste de Dobramento

As amostras submetidas ao teste de dobramento mostram que os revestimentos obtidos apresentaram boa aderência; não apresentando trincas a olho nu, nem com análise em lupa, com o aumento de 10 vezes. As amostras com temperatura ambiente apresentaram pequena delaminação nas periferias dos corpos de prova, por serem regiões de maior energia. A Figura 3 apresenta a aparência dos revestimentos obtidos com as 3 distâncias da pistola, respectivamente.



**Figura 3:** Amostras aspergidas com distância de 100 mm, 150 mm e 250 mm, respectivamente.

### 3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

O material que constitui o revestimento foi analisado após a deposição da liga e com objetivo de verificar a presença ou ausência de mudança de composição química e a morfologia adquirida através do processo. A seguir são apresentados os resultados obtidos nas Figuras 4, 5 e 6; com temperatura ambiente, com pré-aquecimento e pós-aquecimento e pós-aquecimento; respectivamente.



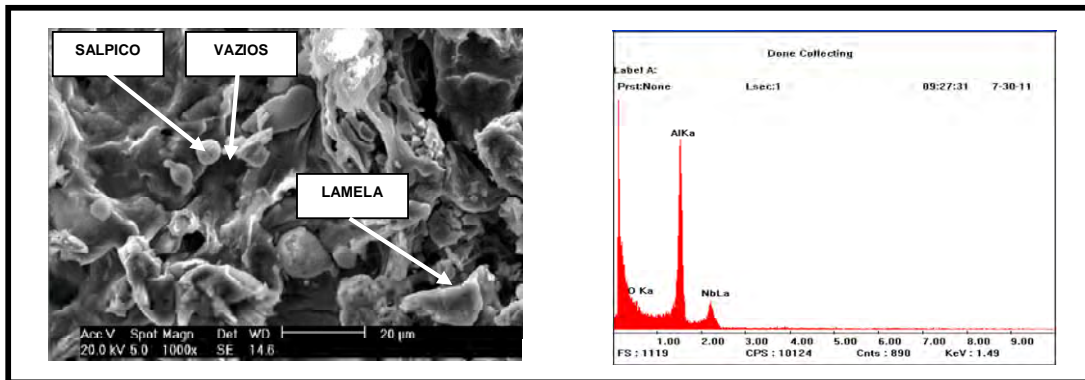


Figura 4: Microscopia eletrônica de varredura do revestimento aspergido com temperatura ambiente.

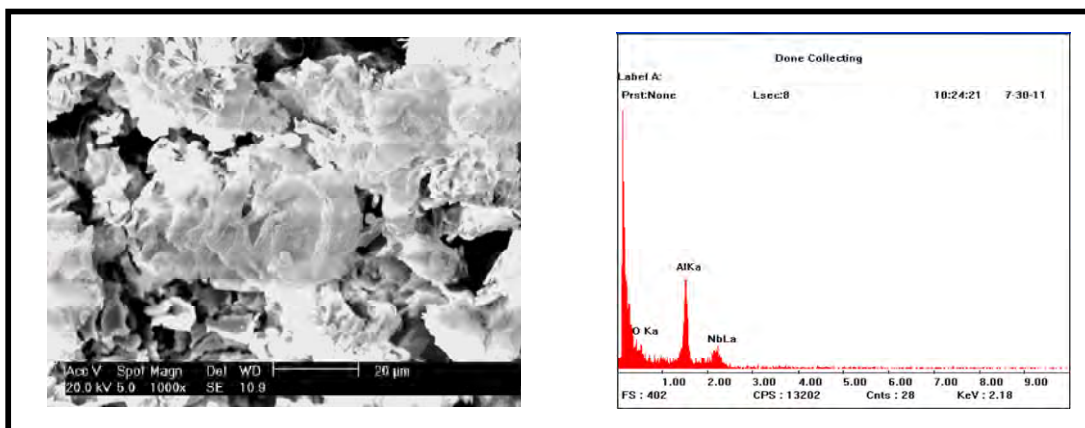


Figura 5: Microscopia eletrônica de varredura do revestimento aspergido com pré-aquecimento.

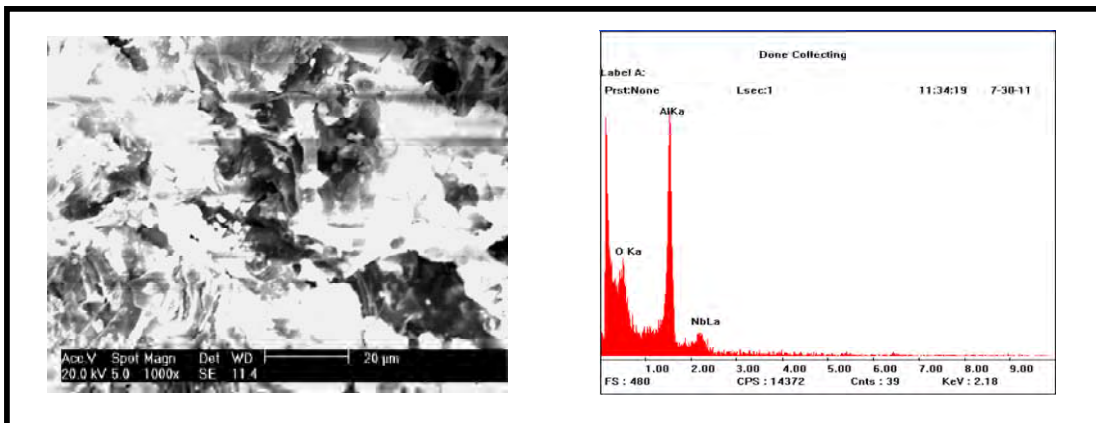
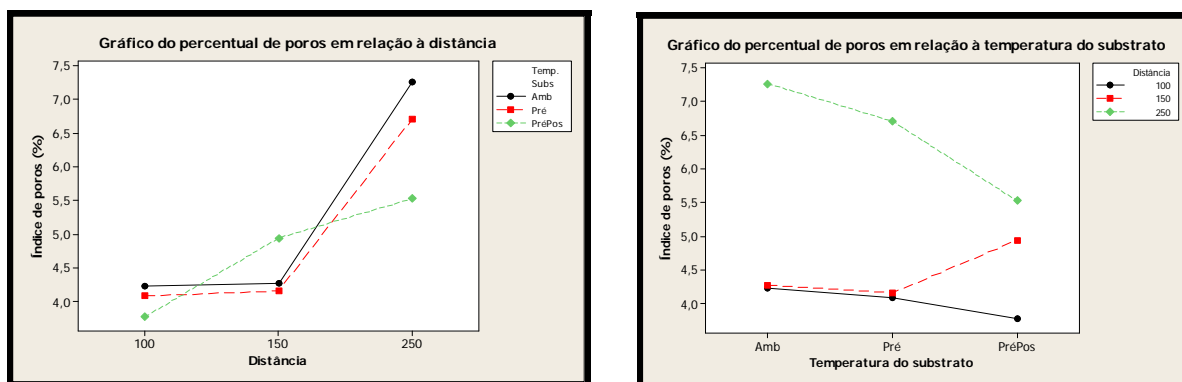


Figura 6: Microscopia eletrônica de varredura do revestimento aspergido com pré-aquecimento e pós-aquecimento.

A Figura 7 mostra o percentual de poros para as 3 condições de distância da pistola e temperatura, e mostra a condição mais favorável para minimizar a quantidade de poros.



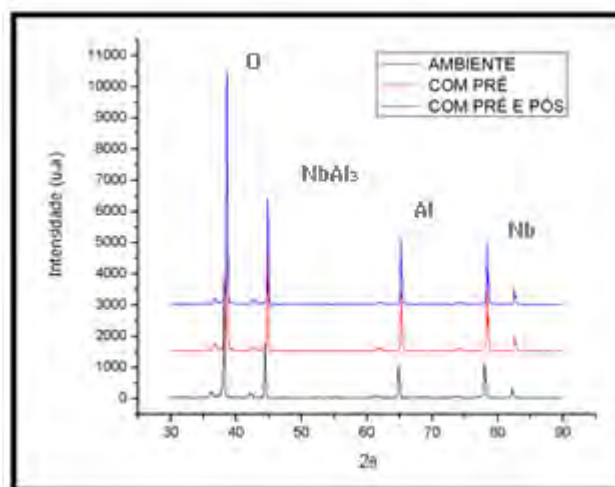
a) Variação da distância.

b) Variação da espessura.

**Figura 7:** Gráficos do índice de poros em relação à distância e temperatura.

### 3.3 Difratometria de Raios-X

Os picos presentes no difratograma do revestimento de NbAl metálico apresentado na Figura 8 confirmam a presença de intermetálico de NbAl, e concentração de Nb e Al. Foi detectado a presença de pequeno percentual de elemento não pertencente à composição química do material.



**Figura 8:** Difratometria das amostras com distância de 150 mm.

## 4 DISCUSSÃO

Importantes informações foram obtidas através dos resultados encontrados na caracterização dos depósitos e com a realização de ensaios nas amostras de revestimento de NbAl produzidas pelo processo de aspersão térmica à chama convencional.

Os resultados apresentados demonstram que os parâmetros utilizados permitiram uma condição ideal de aderência dos revestimentos depositados ao substrato.

O elemento que possui menor densidade no composto, é o que prevalece em maior quantidade (alumínio) na área revestida da camada, deu ao revestimento uma capacidade de resistência maior ao revestimento.

As espessuras obtidas com as distâncias da pistola de 150 e 250 mm estão dentro dos limites estabelecidos, enquanto com a distância de 100 mm foram reprovadas; pois ultrapassaram o limite estabelecido para os revestimentos destinados a prevenção da corrosão.

A distância de 100 mm apresentou maior espessura devido a quantidade de salpicos e maior quantidade de material depositado. Além disso, essa distância apresentou maior temperatura; em todas as etapas devido a proximidade da pistola em relação ao substrato, não sendo necessário o procedimento de pós-aquecimento, pois a temperatura após a deposição, ultrapassou 400°C.

Foi estabelecido que o valor nominal de 0,35 mm para a espessura dos revestimentos seria a condição ideal, assim as amostras com pré-aquecimento e pré e pós-aquecimento se aproximaram mais da condição ideal, enquanto a pior condição foi a de distância de 100 mm para as 3 condições de temperatura do substrato.

A espessura e temperatura do substrato não influenciaram nos resultados da aderência do revestimento; sendo consideradas todas as amostras aprovadas, segundo os critérios da Norma Petrobrás N2568.<sup>(14)</sup>

A distância de 100 mm, com pré e pós-aquecimento obteve menor índice de porosidade, enquanto a distância de 250 mm com temperatura ambiente obteve maior índice de porosidade.

A composição de 50%WtNb e 50%WtAl, das amostras analisadas na microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios x, produziram bons resultados em uma análise geral.

A pequena composição de elemento não identificado, na difratometria, possivelmente é inerente da utilização do equipamento de aspersão em outro processo, visto que o equipamento é utilizado para vários estudos.

## 5 CONCLUSÃO

As análises sobre os efeitos das distâncias da pistola até o substrato, bem como a temperatura do substrato de aço inoxidável austenítico AISI 304L, aspergidos termicamente com revestimento de NbAl, caracterizadas pelas técnicas aqui apresentadas, permitiu as seguintes conclusões:

- 1) Pode-se verificar que é possível a obtenção de revestimentos de NbAl através do processo de aspersão térmica a chama utilizando pistola do tipo 6P.II da marca Sulzer Metco, com as características próprias de revestimentos depositados por AT.
- 2) Os parâmetros de processo, são adequados para a obtenção de revestimentos aderentes de NbAl.
- 3) O elemento que possuir menor densidade no compósito, é o que prevalece em maior quantidade (alumínio) na área revestida da camada, deu ao revestimento uma capacidade de resistência maior ao revestimento.
- 4) Os revestimentos apresentaram baixo índice de porosidade, considerando as características do processo de aspersão térmica à chama e, quanto menor a distância da pistola, menor será a quantidade de poros.
- 5) As espessuras dos revestimentos com distância de 150 mm e 250 mm estão adequadas para o uso do revestimento em meios corrosivos, enquanto as espessuras dos revestimentos obtidos com distância de 100 mm estão acima do esperado. No entanto este último pode ser melhorado, com a revisão dos parâmetros do processo.

## REFERÊNCIAS

- 1 FROUFE, L.M. Análise comparativa de critérios de dimensionamento de risers rígidos. 2006. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- 2 CANDIDO, L.C. Comportamento do aço inoxidável ABNT 304 a corrosão sob tensão em soluções aquosas neutras de NaCl a temperatura de ebulição utilizando a técnica de carga constante. 1987. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.
- 3 FERNANDES, J.C. Desenvolvimento de um dispositivo tipo carga constante para avaliação da susceptibilidade à corrosão sob tensão de aço inoxidável austenítico. 2010. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.
- 4 GOMES, L.M.F. Estudo da susceptibilidade a corrosão sob tensão e a fadiga do aço API X65 aspergido termicamente utilizado em componentes offshore. 2003. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- 5 CHAN K. Alloying effects on fracture mechanisms in Nb-based intermetallic in-situ composites. *Materials Science and Engineering A329-331*, p. 513-522, 2002.
- 6 FERREIRA, L.A. et al. Curso de formação de operadores de refinaria: química aplicada, corrosão. PETROBRAS: UnicenP, 2002.
- 7 SILVA, R.P.; CARVALHO, C.H.M.; BANNWART, A.C. Projeto de separadores trifásicos para óleo pesado. Rio Oil & Gás Expo and Conference, Rio de Janeiro, 4-7 out. 2004.
- 8 PFINGSTAG, M.E; SCHROEDER, R.M.; MÜLLER, L. Avaliação do comportamento à fadiga e à corrosão-fadiga de juntas soldadas da liga inconel 625 testada para uso em plataformas offshore. 17<sup>o</sup> CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, 15-19 nov. 2006.
- 9 LIMA, C.C.; TREVISAN, R. *Aspersão Térmica: Fundamentos e Aplicação*. 2 ed. São Paulo: Editora Artliber, 2010, 152 p.
- 10 CARVALHO, P.R. Estudo do comportamento ao desgaste e corrosão dos aços inoxidáveis AISI 306L e AISI 420 depositados pelo processo de aspersão térmica a arco elétrico. 2007. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- 11 ABUD FILHO, S.E.A.; et al. Estudo das variações de pH nos ensaios de corrosão. Congresso Brasileiro de Corrosão: INTERCORR, Recife, mai. 2008.
- 12 MARQUES, Paulo Villani. *Aspersão térmica*. Infosolda. Acesso: <<http://www.infosolda.com.br/artigos/proso105.pdf>>.
- 13 CORTÉS, R.S.; NIÑO, C.E. Método Taguchi: Uma revisão sobre aplicações em projetos de aspersão térmica. XXI Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem. Anais, p.417-430. Caxias do Sul, Junho, 1995.
- 14 Norma PETROBRAS N-2568, Revestimentos Anticorrosivos Aplicados por Aspersão Térmica, Janeiro 2004.
- 15 SLAVCHECA, E.; SHONE, B.; TURNBULL, A. Factors controlling naphtenic acid corrosion. *Corrosion* 98 – NACE, paper 579. 1998.