

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

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

LEGENDA:

Influência da preparação da superfície química e mecânica em aço carbono para aplicação do revestimento poliuretano de alta resistência

Andressa C. Xavier^a, Marielen Longhi^b, Patrícia Marcolin^b, Lucas P. Zini^c, Cláudia T. Oliveira^d, Sandra R. Kunst^e

Abstract

The carbon steel presents characteristics of low corrosion resistance, thus, properties as curability, mechanical resistance, ductility and others show a decrease. One of the ways to prevent corrosion is to ensure that the organic coating be well adhered on the substrate and it is fundamental the preparation of the metallic surface for good adhesion. Within this context, this work aims to evaluate and characterize the influence of the superficial preparation using the chemical pretreatment of iron phosphate and the mechanical pretreatment of blasting with steel shot, with subsequent application of monocomponent polyurethane coating, on the substrate of carbon steel SAC 350. The samples were analyzed through roughness, adherence, layer thickness, brightness and hardness tests and chemical techniques of salt spray and humid chamber, where it was observed the premature blistering in the samples with iron phosphate. However, the mechanical preparation with steel shot through blastin presented similar behavior until 432 h of exposition, which occurred due to the characteristic of the substrate.

Keywords: steel, corrosion, coating, pretreatment.

Resumo

O aço carbono apresenta características de baixa resistência à corrosão, sendo assim, propriedades como a durabilidade, resistência mecânica, ductibilidade entre outros aspectos apresentam um decréscimo. Uma das formas de prevenção à corrosão é garantir que o revestimento orgânico esteja bem aderido ao substrato e, para isso é fundamental o preparo da superfície metálica para uma boa adesão do revestimento. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar e caracterizar a influência da preparação de superfície utilizando os pré-tratamentos, químico de fosfato de ferro e mecânico, por jateamento com granalha de aço, pelo método manual e robotizado, com posterior aplicação do revestimento de monocomponente poliuretânico, no substrato de aço carbono SAC 350. As amostras foram analisadas quanto à rugosidade, aderência, espessura de camada de tinta seca, brilho, dureza do revestimento e ensaios acelerados de corrosão em névoa salina e câmara úmida saturada, onde foi observado o empolamento precoce nas amostras com fosfato de ferr. No entanto a preparação mecânica com granalha de aço por jateamento manual e robotizado foi observado

^a Engenheira Química - PGEPROTEC - UCS

^b Mestre, Engenheira Química - PGEPROTEC - UCS

^c Engenheiro Químico - PGEPROTEC - UCS

^d Doutora, Engenheira Química - Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas - FEEVALE

^e Doutora, Engenheira Química - PGEPROTEC - UCS

desempenho similar até 432 horas de exposição que ocorreu devido a própria característica do substrato.

Palavras chaves: Aço, corrosão, revestimento, pré-tratamento, revestimento.

Introdução

Com a alta exigência de produtos com maior resistência tem-se criado revestimentos, que protejam os materiais metálicos contra o ataque da corrosão, que possui efeitos no âmbito ambiental e econômico (1).

A aderência é um dos requisitos essenciais para o desempenho da proteção contra o ataque à corrosão, que depende essencialmente da preparação da superfície utilizada e da afinidade entre o substrato e o revestimento. Para isso é indispensável a total remoção de contaminantes no substrato metálico que será revestido e a adequada rugosidade, especificado em norma (2). Dentre todas as tecnologias existentes para preparação de superfície metálica, podemos citar o pré-tratamento químico por fosfatização e o mecânico, por jateamento de granalha de aço (JCG) pelo método manual ou robotizado. O primeiro consiste em conferir propriedades que visa melhorar o desempenho contra a corrosão, um exemplo a ser citado é a tinta que reage quimicamente com o metal. O segundo é o método que apresenta melhor eficiência para obter aderência mecânica e química satisfatória (3, 4, 5, 6, 7). A aplicação de revestimento não metálico de natureza orgânica é um dos métodos de controle da corrosão mais amplamente utilizado. As tintas são empregadas pelos seus aspectos estético, decorativo e principalmente pela proteção anticorrosiva e aumento da vida útil dos materiais (8). No entanto para uma tinta ter uma boa adesão na superfície metálica, é fundamental o preparo da superfície a ser protegido, prolongando desta forma a durabilidade do revestimento (4, 6, 7). As tintas aderem aos metais por ligações físicas, químicas ou mecânicas. Realizar a preparação da superfície do aço significa que sejam executadas operações que permitam obter limpeza e rugosidade, eliminando contaminantes, oxidações e tintas mal aderidas (9). Para isso os pré-tratamentos citados, além de realizar a limpeza da superfície, contribui para o aumento da ancoragem no substrato, aumentando a área da superfície para o estabelecimento das ligações polares. Por isso, quando há estes dois tipos de mecanismos sendo utilizados no substrato, observa-se maior durabilidade do revestimento (7, 10). Portanto este estudo tem como objetivo, avaliar o comportamento de métodos distintos de pré-tratamento químico e mecânico com aplicação de revestimento sobre amostras do aço SAC 350 e caracterizar as mesmas quanto à resistência a corrosão através do ensaio de névoa salina, câmara úmida, diferença de brilho para cada perfil de rugosidade sobre a tinta aplicada e determinar o perfil de rugosidade com menor impacto para a corrosão dos dois métodos de pré-tratamento mecânico, o abrasivo manual e mecânico.

Metodologia

Neste trabalho foram utilizadas amostras de aço carbono SAC 350, com teor de carbono, silício, manganês, cobre, níquel e cromo, conforme Tabela 1, laminado à quente com as dimensões de 2000 mm x 1000 mm x 2 mm. Algumas amostras não foram realizadas a pintura de acabamento a fim de realizar teste específico de rugosidade. Devido a este teste não permitir a leitura quando aplicado o revestimento ao substrato.

Tabela 1 - Análise de Composição química das amostras através de espectrometria.

Elemento	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)
Teor especificado	0,09	1,09	0,36	0,078	0,005	0,218
Teor amostra	0,089	0,994	0,329	0,0746	0,0325	0,216

Para este estudo, os jateamentos abrasivos, manual e robotizado foram abordados.

Jateamento abrasivo manual

O método de jateamento manual consiste na utilização de granalhas angulares e esféricas, onde 3 tipos de granalhas nas seguintes proporções foram utilizados: 40% granalha esférica S230, 30% granalha de aço angular G40 e 30% G50, pressão de 6 bar a uma distância média da amostra de 1 metro, podendo variar na aplicação pela ação humana, de modo que toda superfície metálica fosse atingida pelo jato de granalha de aço. Este ensaio seguiu a norma SSPC- SP10.

Jateamento abrasivo robotizado

O jateamento mecânica robotizado consiste na aplicação de jato de granalha de aço em sistema fechado com a utilização de granalhas angulares G-50, pressão de 10 bar, a uma distância da amostra de 750 centímetros regular com variação de ± 250 . As amostras foram dispostas no box de jateamento e realizado a programação dos robôs, de modo que a superfície das mesmas fossem uniformemente jateadas. Este ensaio procedeu conforme norma SSPC- SP10.

O sistema de aplicação do revestimento de fosfato através do método de aspersão ocorre simultaneamente com a aplicação do fosfato de ferro, utilizando o produto químico Salofos 746 FF, com uma temperatura que varia de 75 a 85°C, devido à perda de calor entre o tanque até o bico da pistola. Neste processo, o pH deve ficar entre 5 a 7 e a acidez total entre 6 e 8. Após a aplicação de fosfato de ferro o mesmo permanece em repouso por 5 min e então é realizado enxague a fim de remover qualquer tenso ativo retido no processo, utilizando água industrial a temperatura aproximada de 75 a 85°C, e após foi realizado o processamento de secagem na estufa por aproximadamente 60 minutos a uma temperatura que pode variar entre 80 a 90°C. As amostras utilizadas foram submetidas nas condições descritas na Tabela 2:

Tabela 2 – Condições processo pré-tratamento químico.

Estágio	Produto	Tempo (min)	pH	Acidez (ml/L)	Temperatura (°C)
Fosfato e Desengraxante	Fosfato de ferro e Salofos 746 FF	5	6,5	6,8	81
Enxague	Água Industrial	5	5,6	6,1	79
Secagem	Ar quente	45	-	-	90

Para o ensaio de rugosidade, foi utilizado um rugosímetro digital, marca mitutoyo SJ-210. O ensaio foi realizado conforme norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua norma NBR 15488-2007. A determinação dos corpos de prova referente a rugosidade, foi realizada antes do processo de pintura, verificando em cinco pontos de cada corpo de prova. Neste trabalho, foi considerado apenas as medidas de Rz que representa a altura entre o ponto máximo e mínimo dos picos e vales da superfície.

A análise de granulometria nos abrasivos utilizados no processo de preparação mecânica foi realizada com a pesagem de 100g de cada amostra da granalha em uma balança analítica, marca Shimadzu. Após foi adicionado a amostra da granalha coletada em um agitador de peneira de marca Bertel, durante o período de 10 minutos com 50% de vibração. Ao término da agitação, foi realizado a pesagem na balança de precisão de cada peneira para verificar em gramas a quantidade de granalha de aço retida em cada mesh, verificando assim o desgaste das granalhas à medida que estão retidas. O controle para adição de granalha no sistema é realizado pela quantidade de 75% retida no mesh 80.

A medida do ângulo de contato tem como objetivo caracterizar a molhabilidade dos sólidos utilizando o método da gota séssil que pode variar pela energia da superfície da amostra e a tensão superficial do líquido, devendo o contato ser de apenas uma gota.

O desempenho a corrosão via câmara úmida, é um ensaio de exposição à atmosfera úmida saturada, onde foi possível observar a resistência da amostra a atmosfera com umidade de 100% e temperatura de aproximadamente 38°C. O teste foi conduzido em ciclos de 24 horas. O ensaio e a avaliação das amostras foram realizados conforme indicado pelas normas ASTM D 1654-08, ASTM D 714-09 e ASTM D 2247-11 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2008, 2009, 2011). O teste foi realizado na câmara de marca Druckman, modelo corrotest CE-300, com triplicata das amostras no tempo de 528 horas e as bordas foram protegidas com fita crepe.

O ensaio de névoa salina ocorreu em solução aquosa de 5% de cloreto de sódio. Para a análise das amostras foi utilizado uma câmara da marca Bass Equipamentos, modelo CA 680, com controle de temperatura de 35°C ± 4 e no saturador 40°C ± 4, reservatório de solução e controlador de pressão de 0,7 a 1,0 kgf.cm⁻². As amostras foram posicionadas na câmara em um ângulo de 15° no sentido vertical, assim permite a condensação da névoa sobre as amostras. O tempo de residência das amostras foi de 528 horas.

Para a determinação do grau de aderência da pintura sobre o substrato metálico, foi realizado o teste de aderência, conforme norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 11003 – 2009, que indica o método de corte em “X” para espessura de película seca maior ou igual a 70 µm. Sobre a superfície metálica foi realizado cortes de aproximadamente 40 mm de comprimento interceptados ao meio com ângulo de aproximadamente de 40° e então colocou-se a fita filamentosas sobre o “X” friccionando firmemente e após aguardar 1 minutos foi removido a fita em um ângulo de 180° em direção paralela ao substrato. A adesão do filme é avaliada a partir da quantidade de destacamento de laminados do filme na interseção e ao longo das incisões encontrados na fita.

Para realizar a medição da espessura de camada seca de tinta, foi utilizado o medidor de camada marca elcometer, modelo 456C-standard, com sonda para substrato de bases metálicas ferrosas, que foi utilizado para realizar a medição em cinco pontos de cada corpo de prova.

O teste de brilho foi realizado com base na norma ASTM D523-08, em um medidor de brilho MultiGloss 268 Plus da marca BYK Gardner com calibração para ângulo de 60° e 96,5 UB.

RESULTADOS

Os dados coletados para a análise granulométrica representam os resíduos retidos nas malhas 20, 24, 28, 48, 80 e 115 do sistema de jateamento manual e robotizado, representado na Figura 1.

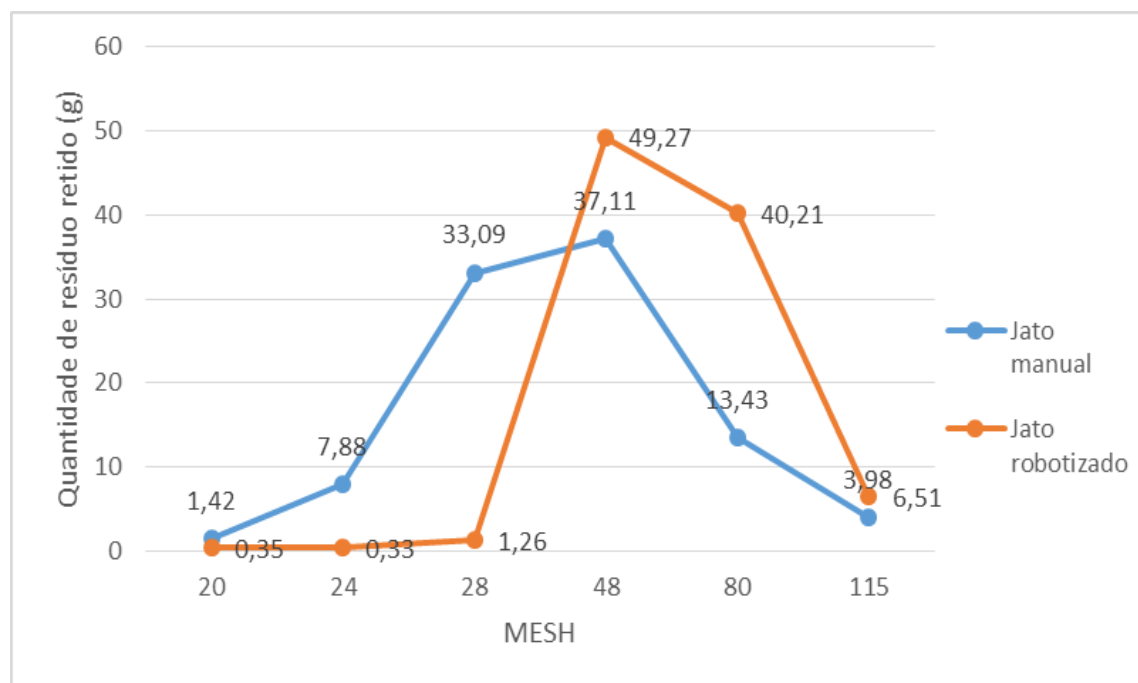


Figura 1– Representação gráfica de granalha de aço retida por malha.

Pode-se observar no gráfico apresentado na Figura 1, o comportamento de cada processo de preparação mecânica. Para o sistema de jateamento manual o resultado da análise apresentou distribuição granulométrica com retenção de 40,21% e para o jato robotizado 13,43%, para a peneira de mesh 80. Esse resultado está de acordo com a norma SAE J444, que especifica que o resíduo retido até a peneira de mesh 80, deve ser de no mínimo 75% a cada 100 g de granalha analisada, com o objetivo de atender a rugosidade de até 60 Rz na superfície metálica.

Para este processo de jateamento manual, observa-se o desgaste precoce das granalhas a partir da peneira de mesh 24, porém o aumento é gradativo, até que sua maior parte de resíduo seja retida, na peneira de mesh 48 e 80. Observa-se então que tal desgaste, pode estar associado pela mistura que é realizada no jateamento manual com granalha angular G40 e G50 e granalha esférica S230 a pressão de 6 bar. No entanto, o jateamento robotizado, que é utilizado somente granalha angular G50 a pressão 10 bar, possui impacto do abrasivo com tendência a ser maior, desgastando assim com maior frequência o abrasivo.

Após o processo de jateamento foi realizada a verificação do perfil de rugosidade das amostras em três pontos na superfície conforme a Tabela 3, a qual está representada os resultados encontrados pelo ensaio de rugosidade.

Tabela 3 – Análise do perfil de rugosidade das amostras.

Pontos	Jateamento manual		Jateamento robotizado	
	Rugosidade (Rz)	Desvio Padrão (Rz)	Rugosidade (Rz)	Desvio Padrão (Rz)
1	35,77	4,20	49,56	2,08
2	37,25	0,82	47,99	5,92
3	34,23	4,63	52,28	10,85
Rz médio	35,75	-	50,00	-

Os dados apresentados na Tabela 3, representa o parâmetro – Rz médio em torno de 35,75 entre as amostras no substrato preparado com granalha esférica S230 e granalha angular G40 e G50, referente ao jato manual. Para o jateamento do substrato com granalha angular G50 referente ao jato robotizado, observa-se um Rz médio em torno de 50,00. Comparando o jato robotizado com o jato manual, o perfil de rugosidade é maior, devido a granulometria com maior diâmetro. Além disso no sistema automatizado têm-se um controle de resíduos das granalhas utilizadas, assim como os parâmetros de utilização diferenciado, oferecendo maior eficiência ao sistema. A rugosidade tende a aumentar a aderência do filme de tinta no substrato. O autor salienta ainda o comparativo com dois tipos diferentes de abrasivo, porém a adesão do filme de tinta independe do abrasivo utilizado e sim da rugosidade apresentada (7, 11, 12). Os resultados obtidos também possuem suas variações devido ao impacto do abrasivo no substrato, como observado na análise granulométrica, demonstrando desgaste, sendo geralmente reutilizado, com isso espera-se que a granalha mais fina fique retida (7, 13). A determinação do ângulo de contato é determinada através do método de gota séssil com o objetivo de avaliar a hidrofobicidade dos pré-tratamento de fosfato de ferro, jateamento manual e robotizado com granalha de aço. Os resultados obtidos para este ensaio seguem descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Ângulo de contato médio e desvio padrão.

Amostra	Ângulo de contato médio (°)	Desvio padrão (°)
Jato manual	63,12	0,73
Jato robotizado	63,48	0,68
Fosfato de ferro	59,73	0,78

Ao analisarmos a Tabela 4, observamos uma diferença pouco significativa no ângulo de contato entre as amostras que apresentaram ângulo abaixo de 90°, demonstrando comportamento hidrofílico caracterizando maior molhabilidade. O ângulo de contato menor que 90° pode ser justificado devido ao efeito da rugosidade do substrato, ou ainda os poros na superfície do substrato. Outro fator importante são as reações entre o líquido (gota séssil) e o sólido (revestimento), que pode ser definido como uma dissolução do substrato para dentro da gota, assim o molhamento é afetado podendo diminuir o ângulo de contato (14, 15, 16). Esse comportamento hidrofílico pode estar associado a utilização do revestimento de alto desempenho, ou seja, um poliuretano catalisado na qual o grau de reticulação é grande (8, 17). Os resultados do ensaio de espessura de camada seca nas amostras do pré-tratamento com fosfato de ferro, jateamento com granalha de aço manual e robotizado estão representados na Tabela 5. As medidas foram realizadas em cinco pontos aleatórios de cada amostra.

Tabela 5 – Valores da espessura de camada da tinta seca

Descrição	Média de camada de tinta seca (μm)	Desvio padrão (μm)
Fosfato de ferro	117	13,6
Jato manual	162	21,1
Jato robotizado	146	18,6

O perfil de rugosidade ideal é aquele em que o Rz deverá ter o valor entre 1/4 e 1/3 da espessura total da camada de tinta seca (9). Os valores de rugosidade obtidos proporcionam uma condição de destaque nas amostras analisados.

Analisando os resultados de camada seca aplicada na superfície metálica, foi observado que o resultado para a amostra com a preparação superficial de fosfato de ferro foi inferior quanto comparada com as demais amostras. O perfil de rugosidade gerado na superfície metálica pelos abrasivos de granalha de aço confere em picos e vales, onde o revestimento irá formar uma camada lisa e homogênea a fim de promover a proteção contra a corrosão (8). As variações de camada entre os pré-tratamentos realizados nas amostras também podem estar associadas quanto a aplicação do revestimento realizado manualmente, devido a estas diferenças de picos e vales, é necessária maior quantidade de tinta para que haja a cobertura completa, oferecendo a resistência esperada contra a corrosão.

A tendência das amostras que possuem tratamento superficial mecânico, é apresentar maior rugosidade, além de maior quantidade de tinta aplicada e menor o brilho perceptível a olho (7). Neste caso os picos e vales geram uma espécie de “sombra”, induzindo a afirmação da diferença de brilho. A variação de brilho entre as amostras de pré-tratamento químico (e mecânico estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores obtidos no ensaio de brilho.

	Fosfato de ferro	Jato manual	Jato robotizado
Média (UB)	38,64	21,84	25,46
Desvio Padrão (UB)	3,24	2,69	1,44

No entanto, ao medir o brilho com o equipamento devidamente calibrado, notamos que o brilho não atende a especificação indicado pelo fornecedor, com variação de 75 a 85 UB, independente do tratamento superficial utilizado. Uma possível causa é a aplicação do revestimento em cabine de pintura, onde não há temperatura controlada do processo, bem como controle da umidade relativa do ar, pressão da pistola a aproximadamente 3000 psi, que emite uma névoa de gotículas da suspensão em que se encontra no pigmento, assim a amostra ficou suscetível ao *over spray* (sobreaplicação), deixando a amostra com aspecto de “fervido” o que interfere na medição do brilho. Ao comparar com resultados a amostra padrão realizada em laboratório, não há interferências do processo, a mesma apresentou brilho conforme especificação do fornecedor.

Para ensaios de câmara úmida foi observado que os três sistemas de pré-tratamento não apresentarem empoamento e corrosão visível, e isso pode estar associado pela camada de tinta seca ser elevada o que faz com que haja menos poros no filme de tinta, diminuindo a quantidade de umidade penetrada (18).

Para as preparações superficiais do substrato com fosfato de ferro, jateamento com granalha de aço, de forma manual e robotizada com aplicação de tinta de alta resistência, apresentaram alta resistência a exposição a umidade, conforme ilustrado na Figura 2.

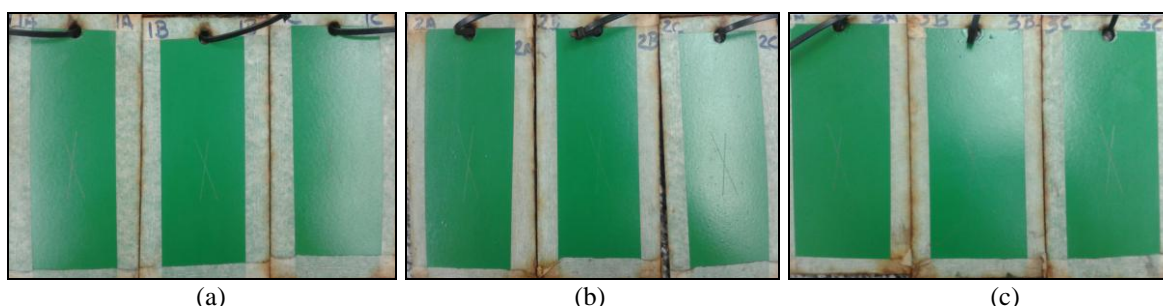


Figura 2 – Ensaio de câmara úmida em 528 horas de exposição para os três sistemas de preparação da superfície metálica estudadas; (a) jateamento manual, (b) jateamento robotizado e (c) fosfato de ferro.

Os resultados deste ensaio foram satisfatórios, pois as amostras foram expostas a umidade saturada, onde não há agressão por cloreto de sódio como no ensaio de névoa salina, demonstrando a alta resistência do revestimento aplicado em combinação com os pré-tratamentos estudados.

No ensaio de névoa salina (*salt spray*), conforme norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D 714 – 02 Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints, o desempenho da proteção contra a corrosão dos revestimentos a base poliuretano alto sólidos, aplicados sob o pré-tratamento superficial, antes da exposição das amostras para a névoa salina, conforme Figura 3, não se observou destacamento no filme de tinta.

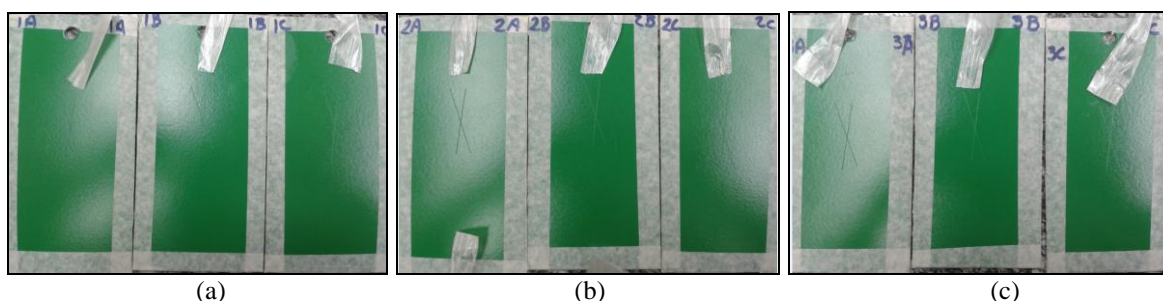


Figura 3 – Amostras com tratamento superficial antes da exposição a névoa salina; (a) jateamento manual, (b) jateamento robotizado e (c) fosfato de ferro.

Após 96 horas de exposição à névoa salina a 40°C, foi observado nas amostras que possuem tratamento superficial de fosfato de ferro apresentaram pequenas bolhas com empolamento grau 4 (4F), conforme Figura 4, enquanto as amostras com tratamento superficial por jateamento manual e robotizado, não apresentaram grau de empolamento visíveis e isso repetiu-se nas amostras em triplicada. Esse bom desempenho dos pré-tratamentos mecânicos era esperado devido rugosidade realizada na superfície metálica, visto que a ancoragem da tinta na superfície oferece aderência maior ao substrato e quando há fissuras na película da tinta, a mesma demora a iniciar a infiltração de líquidos onde haverá processo corrosivo (7, 12).

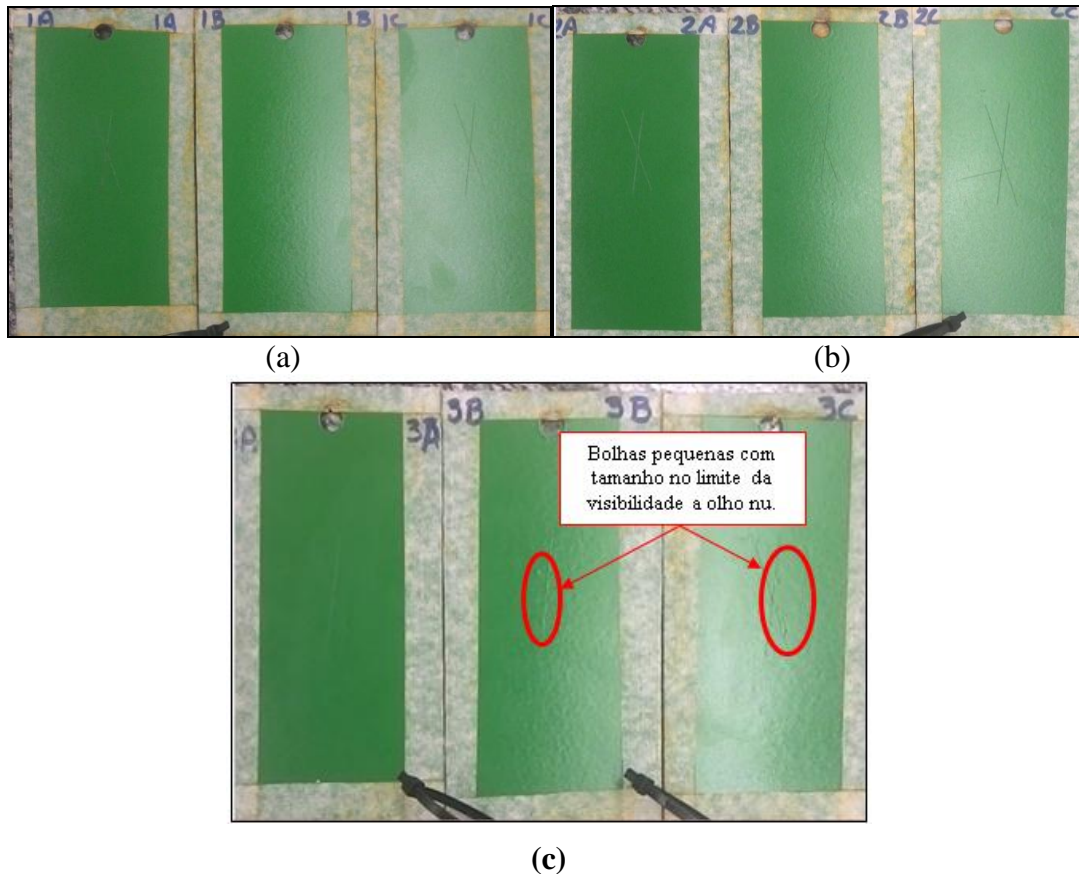
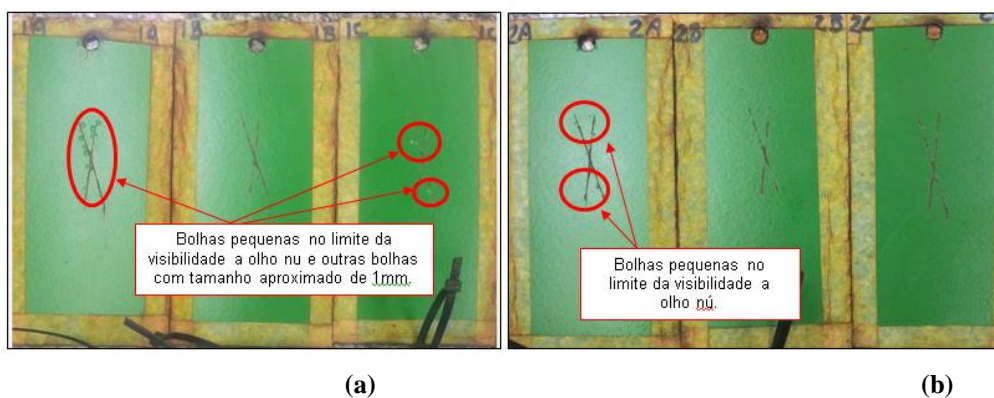
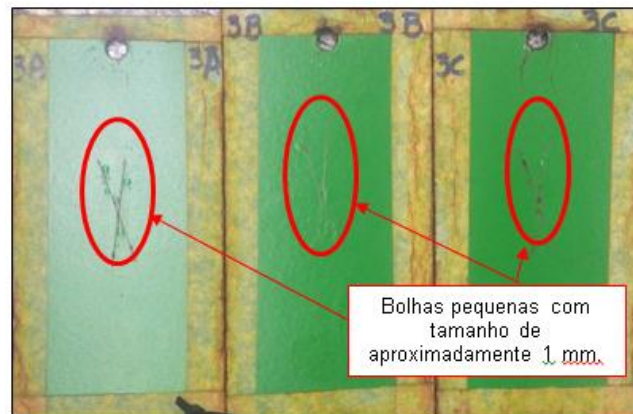


Figura 4 – Análise de grau de empolamento nas amostras com 96 horas de exposição a névoa salina; (a) jateamento manual, (b) jateamento robotizado e (c) fosfato de ferro.

O ensaio após 336 horas de exposição em meio corrosivo, apresentou empolamento nas amostras de preparação mecânica por jateamento manual, bolhas pequenas no limite da visibilidade a olho nu e outras bolhas com tamanho aproximado de 1 mm e para o jateamento robotizado apenas uma das três amostras da triplicata do teste apresentou início de empolamento. Já para as amostras de pré-tratamento químico por fosfato de ferro, obteve empolamento grau 2 e tamanho das bolhas de aproximadamente 1 mm, espaço na qual é observado o alastramento subcutâneo próximo a região de incisão, conforme Figura 5.





(c)

Figura 5 – Amostras expostas a 336 horas em câmara de névoa salina; (a) jateamento manual, (b) jateamento robotizado e (c) fosfato de ferro.

Ao final do ensaio das amostras em 528 horas de exposição a névoa salina, apresentaram empolamento em toda as amostras expostas a salinidade deste sistema de ensaio. As amostras que possuem o sistema de jateamento manual, apresentaram bolhas médias e grau de empolamento 2, próximo a região de incisão. Este resultado foi satisfatório, quando comparado os resultados referente ao perfil de rugosidade podemos observamos que para este sistema de preparação de superfície possui padrão de limpeza Sa 2½ (padrão de jateamento quase branco). Devido à utilização da mistura de granulometria da granalha de aço deste sistema e pelo fato do processo ser manual, vê-se uma ancoragem do revestimento não linear, conforme observado no ensaio de rugosidade, facilitando a absorção de umidade e ataque salino, conforme ilustrado na Figura 6.

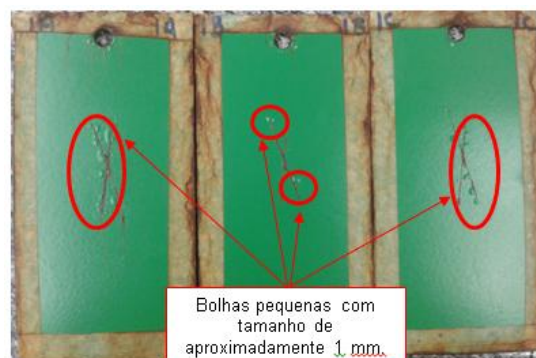


Figura 6 – Amostras expostas a 528 horas em câmara de névoa salina para amostras com jateamento manual.

Para as amostras que possuem o sistema de jateamento robotizado, após 528 horas de exposição a névoa salina, podemos observar tamanho de bolha pequena grau 4, próximo a região de incisão, como pode ser observado na Figura 7. Este resultado foi satisfatório, levando em consideração a preparação de superfície aplicada por um sistema robotizado, o que minimiza o impacto da variação de aplicação humana, obtendo um perfil de rugosidade mais linear, oferecendo melhor ancoragem para o revestimento.

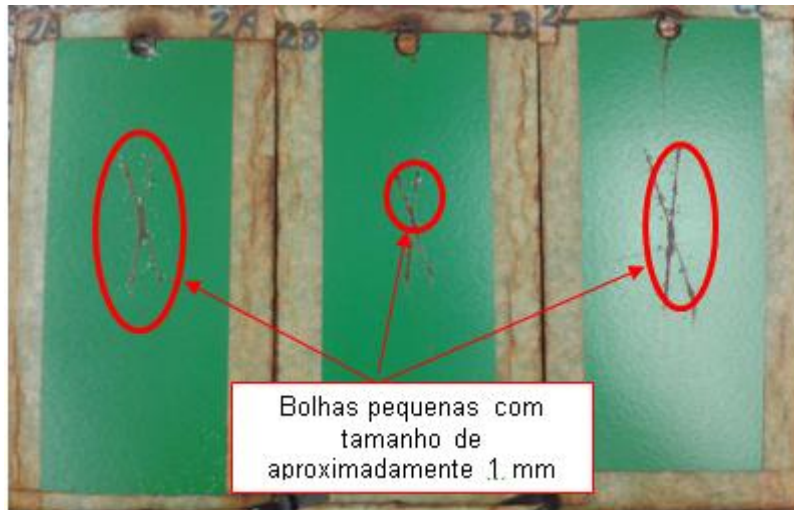


Figura 7 - Amostras expostas a 528 horas em câmara de névoa salina para amostras com jateamento robotizado.

No entanto, as amostras com preparação com fosfato de ferro, o tamanho das bolhas foi de aproximadamente 1,5 mm, média densa, considerada generalizada na superfície, conforme pode ser observado na Figura 8. Este resultado era esperado, a partir das 96 horas em exposição a névoa salina em que as amostras apresentaram início de empolamento. As amostras com esse sistema de preparação superficial possui menor perfil de rugosidade para ancoragem da tinta quando comparada com os demais sistemas analisados.



Figura 8 - Amostras expostas a 528 horas em câmara de névoa salina para amostras com fosfato de ferro.

A presença de contaminantes solúveis em água, como cloretos e sulfetos, na superfície do metal, provoca a formação de bolhas (empolamento) e corrosão. E com isso podem levar a deterioração do sistema de pintura em um período muito curto de tempo, podemos conferir ao contaminante Cl^- presente no ensaio de névoa salina o responsável pelo aumento da intensidade de formação de corrosão nas amostras.

Pode-se concluir que as amostras que possuem preparação superficial com fosfato de ferro, apresentaram bolhas desde as primeiras 96 horas de exposição a névoa salina e à medida que aumentou o tempo das amostras expostas a este sistema, o empolamento na área de incisão visualmente mostra uma tendência de alastramento subcutâneo. Esse resultado apresentado

em pouco tempo pode estar associado a este sistema de pré-tratamento possuir menor adesão ao substrato permitindo a passagem de umidade ao substrato em relação as amostras que receberam o pré-tratamento mecânico por jateamento, que cria com a aplicação do revestimento aplicado, uma espécie de barreira em seus picos e vales diminuindo o impacto a passagem de umidade.

Além disso, observa-se entre os pré-tratamentos mecânicos que o sistema robotizado apresentou melhor desempenho. Ao realizar a análise do perfil de rugosidade dos sistemas de pré-tratamento mecânico, notou-se que o sistema robotizado possui o perfil mais rugoso e com isso a tinta obtém maior aderência, como pode-se comprovar no ensaio de aderência após o ensaio de névoa salina.

A área onde ocorre a formação da bolha é um ponto favorável à corrosão, pois provoca o destacamento e estriamento da película de tinta. Geralmente, as bolhas na pintura ocorrem em locais úmidos. Inicialmente ela depende somente da presença de água, depois começa a ser preenchida com produtos de corrosão, até atingir um estado estacionário (8, 9).

O ensaio de aderência foi realizado com base na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 11003. Todos os casos apresentaram aderência grau Y0 (nenhum destacamento na intersecção) e X0 (nenhum destacamento ao longo das incisões). Uma boa aderência do revestimento ao substrato é a chave para sua resistência contra a delaminação e forças osmóticas, por isso sua importância (7, 12, 19).

Após o ensaio de resistência a corrosão na câmara úmida, as mesmas foram submetidas ao ensaio de aderência, a fim de analisar o alastramento de corrosão subcutâneo. Até então a análise das amostras com pré-tratamento químico (fosfato de ferro) e pré-tratamento mecânico (jato manual e jato robotizado), foram realizados conforme norma American Society for Testing and Materials (ASTM) 714-09 para grau de corrosão e D 610-12 para grau de enferrujamento.

Nas amostras com pré tratamento químico, observou-se grau 5 de corrosão e destacamento acima de 3mm ao longo da incisão (x4), ao analisarmos visualmente o grau de empolamento na superfície do revestimento ainda em 96 horas de exposição a névoa salina e ao fim do ensaio de névoa salina, 528 horas, que se observou o alastramento subcutâneo.

Para a amostra com pré-tratamento mecânico manual, observou-se o grau 2 de corrosão, x4 para o destacamento ao longo da incisão acima de 3 mm. Já para a amostra que possui pré tratamento químico grau 1 e x1 para o destacamento ao longo da incisão. Para os pré-tratamentos mecânicos o perfil de rugosidade do jateamento oferece maior aderência do revestimento, evitando o alastramento da umidade subcutânea (7, 12). Segue representada na Tabela 7 a comparação da aderência antes e após ensaio de névoa salina.

Tabela 7 – Resultado ensaio de aderência antes e após ensaio de névoa salina.

	Aderência antes ensaio névoa salina		Aderência após ensaio de névoa salina	
	Intersecção	Incisão	Intersecção	Incisão
Jateamento manual	Y0	X0	Y4	X4
Jateamento robotizado	Y0	X0	Y3	X1
Fosfato de ferro	Y0	X0	Y4	X4

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos o pré-tratamento mecânico com granalha de aço utilizando o jateamento robotizado em combinação com revestimento monocomponente poliuretano apresentou o melhor desempenho quanto a resistência a corrosão, pois o perfil de rugosidade promove a ancoragem ideal para uma boa proteção contra a corrosão.

A medida do ângulo de contato permitiu constatar que todas as amostras apresentaram caráter hidrofílicas. No entanto, para o presente estudo foi concluído que a hidrofobicidade não é um requisito para avaliar a resistência à corrosão, devido similaridade dos valores.

Através do ensaio de névoa salina, pode ser observado que a amostra que possui a preparação superficial com jateamento robotizado com granalha de aço apresentou os melhores resultados, pois o mesmo resistiu a 432 horas de ensaio, sendo possível concluir que o sistema jateamento robotizado (limpeza superficial ao metal branco), possui melhor resistência a corrosão em relação aos demais tratamentos superficiais, pois resistiu mais tempo a exposição a névoa salina.

Em ensaio de câmara úmida foi possível verificar a boa resistência à umidade de todas as amostras realizadas, assim como aderência após este ensaio, não evidenciando destacamento do revestimento, assim como no ensaio de rugosidade onde conclui-se que o ensaio de névoa salina é válido, pois quanto maior o perfil de rugosidade, maior será a ancoragem da tinta na superfície metálica, sendo assim menos suscetível a corrosão.

No ensaio de aderência antes do ensaio de névoa salina e câmara úmida, não foi evidenciado o destacamento de tinta. No entanto ao realizar o teste de aderência após o ensaio de névoa salina, foi possível constatar a eficiência do sistema robotizado com granalha de aço e posterior aplicação do revestimento monocomponente. A diferença de espessura da camada de tinta seca verificado nas amostras com preparação mecânica por jateamento com granalha de aço realizado manualmente, quando comparada com o sistema de preparação mecânica, robotizada pode ser justificado devido ao maior perfil de rugosidade, assim devendo ser maior a quantidade de revestimento aplicada na superfície que possui maior perfil de rugosidade.

Pelo levantamento bibliográfico e pesquisa referente ao assunto apresentado, pode-se afirmar que o pré-tratamento mecânico robotizado com aplicação de revestimento monocomponente poliuretano de alta resistência, possui maior durabilidade quando exposto ao meio agressivo por Cl⁻.

BIBLIOGRAFIA

- (1) LOPES, R. A escolha do tratamento de superfície. **Revista Tratamento de Superfície**, p. 26 – 29, 2014.
- (2) CECCHETTO, L., DENOYELLE, A., DELABOUGLISE, D. e PETIT, J. A silane pre-treatment for improving corrosion resistance performances of emeraldine base-coated aluminium samples in neutral environment. **Applied Surface Science**, v. 254, p. 1736–1743, 2008.
- (3) ZIMMERMANN, D.; MUNOZ, A. G.; SCHULTZE, J. W. Microscopic local elements in the phosphating process. **Electrochimica Acta**, v. 48, p. 3267-3277, 2003.
- (4) ZIMMERMANN, D.; MUNOZ, A. G.; SCHULTZE. Formation of Zn–Ni alloys in the phosphating of Zn layers. **Surface & Coatings Technology**, v. 197, p. 260– 269, 2005
- (5) Griffiths BJ, Gawne DT, Dong G. The erosion of steel surfaces by grit-blasting as a preparation for plasma spraying. **Wear journal** 1996;194(1):95–102.
- (6) Bellman Jr R, Levy A. Erosion mechanism in ductile metals. **Wear journal** 1981;70:1–27.

-
- (7) CHANDER, K. P.; VASHISTA, M.; SABIRUDDIN, K.; PAUL, S.; BANDYOPADHYAY, P.P. Effects of grit blasting on surface properties of steel substrates. **Materials and Design**, v. 30, p.2895-2902, 2009.
 - (8) FAZENDA M. R. J. **Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia**. Volume 2, 2ª ed. São Paulo – SP, 1995.
 - (9) GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. **Tratamento de superfície e pintura**. Instituto Brasileiro de Siderurgia – Manual de construção do aço. Rio de Janeiro (RJ). 2003. 94 p.
 - (10) GNECCO, C., FRAGATA, F. **Perfil de Rugosidade de Superfícies de Aço-carbono x Espessura de Tintas e de Esquemas de Pintura - Um Tema Importante para Ser Debatedo – Seminário Brasileiro de Pintura Anticorrosiva**, Rio de Janeiro (RJ),2014.
 - (11) MUNGER, C. G. **Corrosion Prevention by Protective Coatings**. 2º edição, Houston, NACE, 1999.
 - (12) HARRIS, A.F.; BEEVERS, A. The effects of grit-blasting on surface properties for adhesion. **Adhesion e adhesives**, v. 19, p. 445-452, 1999.
 - (13) Norma Técnica Petrobrás N 9-1991 – Tratamento de superfície de aço com jato abrasivo e hidrojateamento, Rio de Janeiro. 2011.
 - (14) LI, X.; REINHOUDT, D.; CALAMA, M. C. What do we need for a superhydrophobic surface: A review on the recent progress in the preparation of superhydrophobic surfaces. **Chemical Society**, Rev. 36, p.1350-68, 2007.
 - (15) JOHNSON, R. E.; DETTRE, R. H., *Wettability: Wetting of Low-Energy Surfaces*, New York, Marcel Dekker, 1993.
 - (16) LUZ, A. P.; RIBEIRO S.; PANDOLFELLI, V. C. Uso da molhabilidade na investigação do comportamento de corrosão de materiais refratários. **Cerâmica**, v. 54, p. 174-183, 2008.
 - (17) FONTANELLA, C. A.; OLIVEIRA, A. P. N. DE; HOTZA, D. Recobrimentos poliméricos hidrofóbicos sobre isoladores elétricos de porcelana. **Revista Matéria**, v. 13, p. 624-635, 2008.
 - (18) FURTADO, P. **Pintura Anticorrosiva dos Metais**. 1ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 352p.
 - (19) WICKS JÚNIOR, Z. W., JONES, F. N., PAPPAS, S. P. **Organic Coatings Science and Technology**. Wiley-Interscience, 2º edição, EUA , 1998.