
Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

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

Caracterização da corrosão do aço ABNT 1020 em ensaios de intemperismo atmosférico e salt spray

Emílio J. Silva^a, Gabriel C. Santos^b, Allan M. L. Souza^c, Gonçalo Siqueira^d

Abstract

This study consists of a qualitative and quantitative survey of corrosion in different environments. Thirty-six specimens were tested for weathering tests according to NBR 6209 and distributed in Santos / SP, Guararema / SP and São Paulo / SP. The salt spray test with twelve samples according to ASTM B117 was carried out in parallel. The specimens were submitted to three painting schemes, in batches of twelve samples with the following sequence of processes: electrostatic with epoxy resin, liquid applied by spray gun and aerosol spray (commercial spray) and twelve uncoated samples. The coated samples were subjected to the zinc phosphating process to clean the surface to increase the anchoring profile of the base metal coating. In order to stimulate the corrosion, thirteen samples were intentionally scratched in "X" to follow the reactions after the opening of the protective layer. The samples that presented the highest performance were those coated with epoxy resin and liquid paint, the commercially coated test pieces were the ones that offered the least resistance to corrosion.

Keywords: Atmospheric Corrosion, Weathering, Paint Scheme, Salt spray, Paints.

Resumo

Este estudo consiste no levantamento qualitativo e quantitativo quanto à corrosão em ambientes distintos. Foram expostos trinta e seis corpos de prova para ensaios de intemperismo de acordo com a NBR 6209 e distribuídos em Santos/SP, Guararema/SP e São Paulo/SP. Foi realizado em paralelo o ensaio de *salt spray* com doze amostras de acordo com a norma ASTM B117. Os corpos de prova foram submetidos a três esquemas de pintura, em lotes de doze amostras com a seguinte sequência de processos: eletrostática com resina epóxi, líquida aplicada por pistola pulverizadora e líquida aplicada por aerossol (*spray* comercial) e doze amostras sem revestimento. As amostras revestidas foram submetidas ao processo de fosfatização de zinco para limpeza da superfície afim de obter o aumento do perfil de ancoragem do revestimento do metal base. Com o objetivo de estimular a corrosão, treze amostras foram intencionalmente riscadas em "X" para acompanhar as reações após a abertura da camada protetiva. As amostras que apresentaram maior desempenho foram as revestidas por resina epóxi e tinta líquida, os corpos de prova revestidos com *spray* comercial, foram as que ofereceram a menor resistência a corrosão.

Palavras-chave: Corrosão atmosférica, Intemperismo, Esquema de pintura, *Salt spray*, tintas.

^a Tecnólogo em Fabricação Mecânica – Fatec Itaquera

^b Tecnólogo em Fabricação Mecânica – Fatec Itaquera

^c Tecnólogo em Fabricação Mecânica – Fatec Itaquera

^d Doutorado, Engenharia de Materiais – USP-PMT / Fatec Itaquera

Introdução

Os ensaios de intemperismos foram realizados com o objetivo de acompanhar o comportamento de dados materiais expostos á condições de um ambiente, a fim de determinar o potencial do revestimento ou material ensaiado, e com estes estudos se busca uma maior vida útil dos materiais.

As pesquisas mais recentes apontam que o custo mundial estimado com a corrosão seja 4% do Produto Interno Bruto (PIB) de um país industrializado, e pelo menos metade desses gastos poderiam ser evitados se os conhecimentos e técnicas de prevenção a corrosão fossem devidamente aplicadas (01).

Enquanto isso, os ensaios de intemperismo, onde há um processo corrosivo não acelerado e plenamente natural, temos o tempo e as condições climáticas como dois dos principais fatores que influenciaram neste tipo de ensaio. Ele é amplamente recomendado quando se deseja estudar a eficiência de proteções anticorrosivas ou selecionar materiais mais adequados a determinado ambiente corrosivo. Devido aos ensaios de laboratório simularem condições de uma atmosfera, mas não é possível simular de forma plena, apenas parcial (02).

Neste trabalho será abordado o comportamento do aço carbono ABNT 1020 exposto ao intemperismo, e o seu comportamento frente a ambientes distintos e mesmo com revestimentos semelhantes em alguns corpos de prova, quais as reações que foram ocorrendo ao decorrer dos meses de junho a outubro de dois mil e dezessete.

Metodologia

Neste estudo foram utilizados quarenta e oito corpos de prova com dimensões de 100 mm x 150 mm, o material foi cortado com uso de uma guilhotina, as amostras também foram furadas em sua parte superior central com de 3 mm, realizados por uma furadeira de bancada, essa operação foi para que as peças pudessem ser suspensas para o tratamento superficial de fosfatização que seguiu os procedimento NBR9209 – preparação de superfícies para pintura - processos de fosfatização (03).

Todas as amostras foram identificadas com punções tipo alfanuméricos, onde estas receberam identificações conforme apresentado na tabela 01 realizada, levando em consideração o ambiente para o qual o corpo de prova seria ensaiado, que eram quatro ambientes distintos, sendo eles: Santos/SP (ambiente marítimo), Guararema/SP (ambiente rural), São Paulo/SP (semi industrial, bairro de Itaquera) e ensaio de *salt spray*.

Após as amostras passarem pelo tratamento de fosfatização, foram revestidas em pequenos lotes, onde doze amostras receberam um resina epóxi através da pintura eletrostática e foram curadas em estufa aquecida, doze amostras revestidas por pintura líquida e pulverizada por uma pistola de ar comprimido pop seis mil e a cura foi realizada em temperatura ambiente, e doze amostras revestidas com um aerossol, *spray* comercial, que é um método utilizada em algumas indústrias para pequenos retoques após a montagem de equipamentos ou inspeção final antes de serem embalados.

Tabela 01 – Identificação dos corpos de prova de acordo com a destinação das amostras.

RURAL	MARÍTIMO	SEMI - INDUSTRIAL	SALT SPRAY
R1	M1	I1	S1
R2	M2	I2	S2
R3	M3	I3	S3
R4	M4	I4	S4
R5	M5	I5	S5
R6	M6	I6	S6
R7	M7	I7	S7
R8	M8	I8	S8
R9	M9	I9	S9
R10	M10	I10	S10
R11	M11	I11	S11
R12	M12	I12	S12

Fonte: Autoria própria (2017)

Todas as amostras foram aferidas suas respectivas massas antes do revestimento e após, para que pudéssemos acompanhar a perda de massa destas após a remoção dos corpos de prova ao término dos ensaios realizados. Para aferir a massa das amostras foi utilizada uma balança de precisão da marca KN WAAGEN modelo 2200/2. As amostras após serem revestidas também tiveram a espessura do revestimento aferida, onde foi utilizado um medidor de espessura Mitutoyo 979-476.

Foram realizados com dois corpos de prova revestidos e com suas aferições de massa e espessura, os corpos de prova foram posicionados em um *rack* para exposição ao intemperismo, onde suas dimensões estão de acordo com a NBR 6209 (04). Os *racks* foram construídos com materiais cerâmicos e poliméricos, e cada um recebeu doze corpos de prova, que foram monitorados a cada sessenta dias.

Para o ensaio de *salt spray*, os doze corpos de prova foram suspensos no interior, da câmara, por um período de 384 horas, com temperatura sendo monitorada, entre 34,7°C e 35,3°C, a solução que foi vaporizada na câmara de névoa salina foi cloreto de sódio (NaCl) à 50g/l, a solução teve sua temperatura controlada durante todo o ensaio, na temperatura de 46°C, e o seu pH também foi controlado onde se manteve alcalino durante todo o ensaio, com pH 7, o ensaio foi baseado na norma ASTM B117 (05). Todas as amostras destinadas ao ensaio de *salt spray*, foram revestidas por uma fita anticorrosiva em seu verso, para que apenas a face principal da amostra fosse exposta, a fita da 3M *Scotchrap*^{MR} 50, este adesivo possui alta durabilidade, á base de PVC com adesivo de borracha sensível a pressão, muito utilizada para proteção contra corrosão principalmente em tubulações metálicas aéreas ou enterradas.

Os ensaios de corrosão não acelerada tiveram quatro amostras removidas de cada estação de monitoramento de corrosão para análises após um período que compreende de cem dias á centro e cinquenta dias para algumas amostras, que foram levadas para laboratório para serem preparadas e analisadas. Embora todas as amostras do ensaio de *salt spray* tenham sido retiradas dos ensaios, apenas quatro amostras foram levadas a laboratório para análise.

No laboratório foi retirado uma fração de 5 mm x 5 mm de cada uma das dezesseis amostras, foi utilizada uma serra de fita vertical da Starret para este procedimento. Após serem cortadas

as amostras foram fotografadas através de um microscópio estéreo com zoom Marca ZEISS AxioCam ICc3 de 6,5 vezes de aumento. Após serem fotografadas elas foram metalizadas fazendo uso de um exaustor de pulverização de amostras da Balzers SCD-050 e depositada uma fita de carbono de dupla face para que a superfície se torne uma boa condutora e possibilite a alta qualidade nas imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que foi utilizando para microestrutura superficial do óxido formada nas amostras com ampliações de 150 vezes à 10.000 vezes. Também foi realizada a microscopia química por Espetroscopia de Energia Dispersiva (EDS), onde foi possível verificar a composição química encontrada na superfície bem como a concentração.

Resultados e discussão

As amostras tiveram suas massas verificadas antes e após o revestimento, na qual os resultados podem ser observados na tabela 2, onde são apresentados as perdas e ganhos de massa das amostras analisadas.

Tabela 02 – Tabela indicando o peso das amostras antes de serem revestidas, após o revestimento e após os ensaios de corrosão.

Local do ensaio	ID do Corpo de Prova	Peso (g) antes do revestimento	Peso (g) após o revestimento	Peso (g) após os ensaios	Peso (g) – Diferença de massa
Santos/SP	M02	351,28	351,28	353,71	2,43
	M04	351,73	355,31	353,32	-1,99
	M06	360,99	362,32	361,33	-0,99
	M11	352,18	353,98	353,96	-0,02
São Paulo / SP	I01	361,06	361,06	361,82	0,76
	I04	350,36	352,00	351,89	-0,11
	I11	359,23	359,72	359,63	-0,09
	I12	352,37	352,89	352,83	-0,06
Guararema / SP	R02	355,33	355,33	355,53	0,2
	R04	355,29	355,73	355,65	-0,08
	R05	357,28	359,38	359,27	-0,11
	R06	360,76	361,21	361,04	-0,17
Laboratório (salt spray)	S02	361,00	361,00	362,67	1,67
	S05	358,30	359,96	359,77	-0,19
	S07	359,86	360,57	360,06	-0,51
	S09	356,61	356,80	356,67	-0,13

Fonte: Autoria Própria (2017)

A espessura do revestimento foi aferida em todos os corpos de prova revestidos, foram avaliados cinco pontos em cada amostra, sendo estes pontos um no centro da peça e uma em cada extremo dos quatro cantos da amostra. Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 03, tabela 04, tabela 05 e tabela 06.

Tabela 03 – Espessura da camada de tinta em micrometros (μm) dos corpos de prova que foram destinados à cidade São Paulo/SP no bairro de Itaquera.

ID ¹ do CP ²	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Média	Desvio padrão	Tipo de Pintura
I04	20	30	21	18	23	22,4	4,127953488	E
I05	06	07	09	12	05	07,8	2,481934729	S
I06	21	22	15	14	15	17,4	3,382306905	E
I07	08	07	07	09	05	07,2	1,326649916	L
I08	10	05	04	04	06	05,8	2,227105745	S
I09	11	15	20	17	16	15,8	2,925747768	E
I10	07	08	13	06	07	08,2	2,481934729	L
I11	09	12	08	09	08	9,2	1,469693846	L
I12	06	04	06	06	08	06	1,264911064	S

Legenda: ID = Identificação, CP = Corpo de Prova, E = Eletroestática (pó), S = Aerossol (*spray*) e L = Líquida.

Fonte: Autoria Própria (2017).

Tabela 04 – Espessura da camada de tinta em micrometros (μm) dos corpos de prova que foram destinados à cidade de Guararema/SP, zona rural.

ID ¹ do CP ²	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Média	Desvio padrão	Tipo de Pintura
R04	26	24	27	30	17	24,8	4,354308211	L
R05	17	36	14	24	15	21,2	8,182909018	E
R06	04	06	07	04	03	04,8	1,469693846	S
R07	09	09	07	08	06	07,8	1,166190379	S
R08	17	17	21	21	17	18,6	1,959591794	E
R09	09	09	14	11	04	09,4	3,261901286	L
R10	23	29	17	16	11	19,2	6,209669879	E
R11	11	10	08	08	06	08,6	1,743559577	S
R12	07	04	10	09	07	07,4	2,059126028	L

Legenda: ID = Identificação, CP = Corpo de Prova, E = Eletroestática (pó), S = Aerossol (*spray*) e L = Líquida.

Fonte: Autoria Própria (2017).

Tabela 05 – Espessura da camada de tinta em micrometros (μm) dos corpos de prova que foram destinados à cidade de Santos/SP.

ID ¹ do CP ²	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Média	Desvio padrão	Tipo de Pintura
M04	15	20	19	22	18	18,8	2,315167381	E
M05	19	27	22	16	20	20,8	3,655133376	E
M06	05	07	04	06	04	05,2	1,166190379	S
M07	09	11	10	14	08	10,4	2,059126028	L
M08	11	08	13	09	09	10,0	1,788854382	S
M09	08	08	12	13	10	10,2	2,039607805	L
M10	07	13	10	07	08	09,0	2,28035085	E
M11	27	39	30	32	32	32,0	3,949683532	L
M12	07	08	06	07	06	06,8	0,748331477	S

Legenda: ID = Identificação, CP = Corpo de Prova, E = Eletroestática (pó), S = Aerossol (*spray*) e L = Líquida.

Fonte: Autoria Própria (2017).

Tabela 06 – Espessura da camada de tinta em micrometros (μm) dos corpos de prova que foram destinados ao ensaio de laboratório de *Salt Spray*.

ID ¹ do CP ²	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Média	Desvio padrão	Tipo de Pintura
S04	08	11	10	10	09	09,6	1,019803903	L
S05	26	24	34	21	19	24,8	5,192301994	E
S06	28	32	36	30	26	30,4	3,440930107	E
S07	24	18	23	23	18	21,2	2,638181192	S
S08	37	34	35	23	31	32,0	4,898979486	E
S09	24	18	23	23	18	21,2	2,638181192	L
S10	18	19	21	17	17	18,4	1,496662955	S
S11	21	26	21	24	22	22,8	1,939071943	S
S12	19	15	16	13	16	15,8	1,939071943	L

Legenda: ID = Identificação, CP = Corpo de Prova, E = Eletroestática (pó), S = Aerossol (*spray*) e L = Líquida.

Fonte: Autoria Própria (2017).

As amostras quando submetidas ao EDS (espectroscopia de energia dispersiva) para verificação da composição química do óxido formado na superfície das amostras, que envolve uma interação entre o meio onde estão localizadas as estações de monitoramento de corrosão, o tipo de revestimento aplicado também influenciou no surgimento dos elementos químicos na formação do óxido. Na tabela 3 é possível observar todos os elementos encontrados nas amostras analisadas por EDS.

Tabela 07 – elementos químicos identificados na superfície do óxido formado nas amostras ensaiadas.

Elementos	R5		R2		I1		M11		M2		S5		S2	
	Peso (%)	Atômica (%)	Peso (%)	Atômica (%)	Peso (%)	Atômica (%)	Peso (%)	Atômica (%)	Peso (%)	Atômica (%)	Peso (%)	Atômica (%)	Peso (%)	Atômica (%)
Carbono	8,21	15,65	9,65	20,08	-	-	21,97	39,97	-	-	-	-	-	-
Oxigênio	42,71	61,07	34,96	54,62	16,15	39,35	26,12	35,68	32,47	58,12	33,83	58,2	15,03	37,32
Ferro	35,27	14,45	53,74	24,05	80,07	55,9	40,82	15,97	53,58	27,47	46,67	23	80,42	57,22
Alumínio	3,96	3,36	0,61	0,57	1,09	1,57	0,78	0,63	3,99	4,24	6,67	6,81	-	-
Silício	4,24	3,45	0,47	0,42	1,63	2,26	1,43	1,11	7,75	7,9	7,98	7,82	0,3	0,43
Fósforo	0,48	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,51	-	-
Enxofre	0,31	0,22	-	-	-	-	-	-	0,06	0,06	-	-	-	-
Potássio	0,39	0,23	-	-	-	-	0,17	0,09	0,49	0,36	0,56	0,39	-	-
Cálcio	0,65	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bário	2,58	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinco	1,21	0,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manganês	-	-	0,56	0,25	0,85	0,61	0,3	0,12	0,32	0,38	-	-	1,12	0,81
Sódio	-	-	-	-	0,13	0,22	3,94	3,75	1	1,24	1,14	1,36	1,16	2,01
Cloro	-	-	-	-	0,09	0,09	3,62	2,23	-	-	0,42	0,33	1,97	2,21
Cálcio	-	-	-	-	-	-	0,65	0,35	0,33	0,24	0,8	0,55	-	-
Titânio	-	-	-	-	-	-	0,21	0,1	-	-	0,91	0,52	-	-

Fonte: Autoria própria (2017)

Frente aos dados coletados após os ensaios e análises de laboratório, é possível observar que as amostras revestidas com uma resina epóxi foram os corpos de prova que ofereceram a maior resistência nos quatro lotes de peças ensaiados, senso de corrosão acelerada ou não acelerada e foi uma das amostras que teve uma maior interação do seu revestimento com o meio onde foi ensaiada o que ocasionou uma camada óxido com uma grande variedade de elementos químicos, como pode ser observado na tabela, onde na amostra R6 foi possível identificar 11 elementos químicos, E também foram as amostras que tiveram a menor perda de massa em relação as demais, sofrendo uma menor degradação, mesmo em ambientes mais

corrosivos como o litorâneo, onde a estação de monitoramento fica a aproximadamente de 150 m do mar.

Os corpos de prova que foram revestidos com tinta líquida e pulverizada, também obtiveram um bom desempenho quanto a resistência a corrosão, embora tenha sido inferior às amostras com resina epóxi. Apresentaram uma perda de massa baixa e o seu revestimento também se mantiveram com uma grande interação nos ambientes onde estavam sendo ensaiados, o que levou a formação de uma camada de óxido com onze elementos químicos, como na amostra M11.

As amostras que receberam um revestimento por aerossol (*spray* comercial), foram as amostras que ofereceram a menor resistência aos ensaios de corrosão, isso se deu também pela menor espessura do revestimento, o que nestas situações é importante. Uma área com um revestimento vulnerável é o potencial foco do processo corrosivo.

Conclusões

Frente ao estudo realizado, foi possível compreender melhor a resistência de revestimentos utilizados na proteção contra a corrosão em materiais metálicos em diferentes atmosferas, o que é importante para os estudos sobre a aplicação de materiais em ambientes distintos.

Com os resultados de cinco meses de estudos sobre a corrosão de atmosferas urbana/semi-industrial, rural e marítima, além do ensaio laboratorial de *salt spray*, foi possível verificar que a corrosão tem ligação direta com a atmosfera ao qual o material foi exposto. O tipo de revestimento e espessura da camada protetiva entre o material e o meio ambiente tem ligação direta com a durabilidade do material.

As amostras revestidas com as tintas epóxi foram as que apresentaram o maior rendimento, apresentando baixos índices de corrosão quase zero, como pode ser visto nos resultados apresentados por esse trabalho, também foram as amostras com a maior espessura de revestimento aferido.

A seleção pelo tipo de revestimento e pelos reparos feitos em estruturas metálicas e peças, é algo de suma importância. Foi observado que as amostras revestidas com um *spray* de uso comercial, que geralmente é utilizado para pequenos reparos, gera um ponto de vulnerabilidade na região reparada e consequentemente desencadeia um processo de corrosão do material. Outro ponto importante observado por este trabalho é a importância do tratamento da superfície metálica antes da aplicação da tinta, para a criação de uma boa ancoragem, um revestimento com uma boa aderência não deixará espaços entre a superfície metálica e a camada protetiva, e mesmo após um dano no material, como os simulados em algumas amostras, impossibilitam a manifestação da corrosão por baixo do revestimento, a oxidação irá ocorrer apenas no ponto danificado, como ocorreu com todas as amostras deste trabalho.

Concluimos que os ensaios de intemperismo real, embora tenham um tempo de duração maior para apresentar resultados substanciais, proporciona um conhecimento maior sobre o material do que os ensaios de simulação em laboratório, isso porque em laboratório não é possível simular situações como a poluição ambiental, intempéries e variações climáticas. Em sua maioria os ensaios de laboratório são padronizados, onde você recebe resultado de uma condição padrão, e a composição do óxido pode ser diferente, como visto nos resultados deste trabalho. O óxido formado nas amostras destinadas ao ensaio de *salt spray*, foram as que possuem o menor número de elementos em sua formação, o que pode deixar em dúvida de qual revestimento utilizar ou qual seria o melhor para as situações ensaiadas em laboratório.

Referências bibliográficas

- 1 TIWARI, A.; RAWLINS, J.; HIHARA, L. **Intelligent Coatings for Corrosion Control**. Waltham: Elsevier, 2015.
- 2 GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9209**: Preparação de superfícies para pintura – processo de fosfatização, 2002a. 2 p.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6209**: Corrosão Atmosférica – Materiais Metálicos – Ensaio não-acelerado, 2002a. 12 p.
- 5 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **B117**: Standard practice for Operating Salt Spray (Fog) Aparatus, 2016. 12p.