

CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO DE CORROSÃO ATRAVES DE TESTE DE NEVOA SALINA NA REGIÃO DE CORTE DE PEÇAS ESTAMPADAS

CLEBER NOVAIS RODRIGUES¹
SAULO AGUIAR SAES²
RODOLFO ALEXANDRE HILDEBRANDT³
HÉLIO KIUJI KAYAMORI⁴

Resumo: Este estudo tem como objetivo avaliar a proteção da tinta nas bordas do material por meio de ensaio em uma câmara de névoa salina (Salt spray), estas câmaras apresentam uma atmosfera com umidade controlada, onde os corpos de prova são expostos a essa atmosfera que simulam ambientes de alta umidade relativa por um determinado período de tempo, retratando resultados que ocorrem nas condições reais de intemperismo (processo de transformação e desgaste das rochas e dos solos, através de processos químicos, físicos e biológicos), sendo que este ambiente acelera o processo de corrosão e reduz a durabilidade dos materiais. Foram avaliados corpos de prova do material aço carbono SAE 1008, confeccionados com chapas do mesmo tamanho e modelo, porém com diferenças de acabamento na região de corte do material, com cantos vivos e cantos arredondados, para posteriormente serem revestidos com a tinta eletrostática a pó e serem submetidos a câmara de névoa salina (Salt spray) conforme norma NBR 8094 e ASTM B117. Antes de serem pintados ambos os modelos foram dirigidos para o processo de tratamento de superfície onde são devidamente retiradas todas as impurezas e receberam a camada de proteção. Os resultados mostraram que existe uma diferença significativa de um processo para o outro, no corpo de prova com cantos vivos, em poucas horas apresentou a corrosão, já o corpo de prova com cantos arredondados houve um elevado tempo antes de ocorrer tal fenômeno.

1 Discente Graduando em Tecnologia em Fabricação Mecânica, Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina; clebernovais83@gmail.com

2 Docente Especialista; Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; saulo.saes@fiepr.org.br

³ Docente Doutor; Faculdade de Tecnologia do SENAI Londrina; rodolfo.hildebrandt@pr.senai.br

⁴ Engenheiro Eletrecista. Docente da Faculdade de Tecnologia do SENAI de Londrina; helio.kayamori@sistefiap.org.br

Palavras-chave: Corrosão, Salt Spray, Pintura Eletrostática

Abstract: This study aims to evaluate the protection of the paint at the edges of the material by means of a test in a salt spray chamber, these chambers have an atmosphere with controlled humidity, where the specimens are exposed to this atmosphere that simulate Environments of high relative humidity for a certain period of time, portraying results that occur in the real conditions of weathering (process of transformation and wear of rocks and soils, through chemical, physical and biological processes), and this environment accelerates the process Corrosion and reduces the durability of materials. Samples of the SAE 1008 carbon steel material, made with plates of the same size and model, but with finishing differences in the region of cut of the material, with live corners and rounded corners, were evaluated to be coated with the electrostatic powder coating And to be submitted to a salt spray chamber according to NBR 8094 and ASTM B117. Before being painted both models were directed to the surface treatment process where all the impurities were properly removed and received the protection layer. The results showed that there was a significant difference from one process to the other, in the corpus of tests with live corners, in a few hours presented the corrosion, and the body of evidence with rounded corners there was a high time before that phenomenon occurred.

Keywords: Key-words: Corrosion. Salt Spray. Electrostatic Painting

1. INTRODUÇÃO

Os processos de pintura de materiais metálicos vêm sendo usados a milhares de anos com um crescimento intenso com o passar do tempo. A partir do século XIX aumentou-se o emprego da proteção dos metais devido à necessidade de recobrimento de máquinas e equipamentos desenvolvidos na revolução industrial.

Um dos principais objetivos da pintura é depositar uma camada protetora na superfície de um material, sendo ele metálico ou não, evitando a corrosão e consequentemente promovendo a segurança e a decoração da peça.

É importante ressaltar, que a pintura não é o único método de cobertura de superfície dos materiais metálicos, entre eles pode-se encontrar a zincagem, galvanização e a cromagem.

Segundo Gentil (2007) a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, normalmente metálico, por ações químicas ou eletroquímicas existentes no meio ambiente com ajuda ou não de esforços mecânicos. A corrosão é um processo que está sempre em transformação comprometendo a durabilidade e desempenho dos materiais metálicos e diminuindo a sua vida útil.

Na camada de contaminantes da superfície do material observa-se geralmente resíduos de óleos minerais e outros produtos, pode-se também encontrar corpos estranhos como limalha de ferro, cavacos e resíduos de plástico ou madeira que são encontrados nas embalagens do material. “Sem uma boa preparação da superfície antes da pintura, a aderência da tinta será mínima ou nenhuma, resíduos de óleos, detergentes, sabões, poeiras e defeitos físicos na superfície, etc., influem na má aderência da pintura”. (SILVA, 2009)

Visando questões, que envolvem fenômenos de corrosão, neste trabalho é de grande interesse fazer uma análise em uma metalúrgica na região de Londrina sobre o comportamento de dois corpos de prova avaliando a proteção da tinta nas bordas do material, problema identificados em campo em um de seus produtos durante instalação final, onde o produto tem uma grande exposição a produtos químicos, como produtos de limpeza, sal, água entre outros, fazendo com que ocorra a precipitação da corrosão.

Para execução dessa análise será realizado o teste de nevoa salina nas bordas do material para avaliar a proteção da tinta nessas superfícies. Após o processo de rebarbação das arestas desses corpos, onde trará os resultados para avaliar a necessidade de rebarbar as peças antes de serem pintadas.

Para essa análise será utilizado uma câmara de nevoa salina, onde será realizado o teste de nevoa salina nas bordas do material, para avaliar o desempenho da proteção da tinta nessas superfícies.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aço Carbono

Segundo Silva (2006) uma parcela expressiva da fabricação de aços se destina, atualmente, a produtos planos como folhas, tiras ou chapas destinados à conformação mecânica antes da aplicação, um fator importante para a seleção desses aços é sua formabilidade, pois se trata de um aço de baixo teor de carbono, laminado a frio e apresenta um excelente acabamento superficial.

De acordo com Callister (2012) compreendem-se que aços são ligas de ferro-carbono, que contêm concentrações de outros elementos de liga com diferentes composições e tratamentos térmicos, os aços mais comuns são classificados conforme a concentração de carbono, que são inferiores a 1,0%p, esses aços geralmente contêm menos de 0,25%p C, são de baixa dureza e baixa resistência, porém contêm uma ótima ductibilidade e tenacidade que os tornam um material fácil de ser usinado, soldado e com um baixo custo de produção.

2.1.1 Ligas ferrosas

De acordo com Callister (2012) ligas ferrosas são aquelas onde seu principal constituinte é o ferro, essas ligas são produzidas em maior número que qualquer outro metal, e tem um papel importante para os materiais de construção usados na engenharia. Seu vasto modo de utilização é o resultado de três fatores importantes; os compostos contendo ferro existem em grandes quantidades na crosta terrestre; o ferro metálico e as ligas de aço podem ser produzidos utilizando processos de extração, beneficiamento, desenvolvimento de ligas e fabricação relativamente econômica; e são extremamente versáteis podendo ser fabricadas com uma variedade de propriedades físicas e mecânicas. A grande desvantagem das ligas ferrosas é sua susceptibilidade a corrosão.

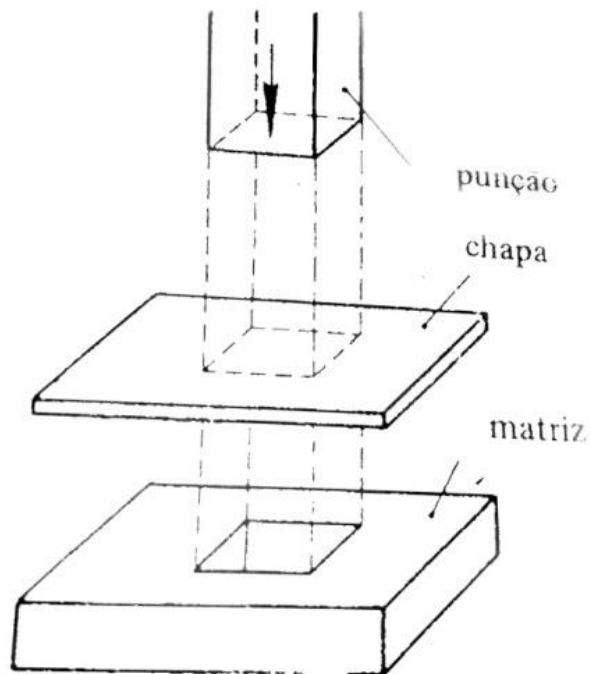
2.1.2 Estampagem

Segundo Polack (2004) entende-se por corte ou puncionamento a perfuração de uma chapa mediante um punção macho que penetra em um orifício de sua mesma forma em uma placa chamada matriz ou alfeça, e que é o único tipo de corte que dá lugar a operações de estampagem por intermédio do punção.

A figura 1 ilustra o sistema de estampagem através processo de puncionamento através da matriz e punção.

De acordo com Brito (2004) o processo mostrado na figura 1, é muito utilizado pelas empresas devido ao seu baixo custo por unidade e semelhança quando se trata de produção em série, a maioria das firmas atualizadas procura desenvolver ao máximo a estamparia, automatizando e simplificando tudo com estudos, planejamentos e projetos obtendo com isto os melhores resultados, chegando mesmo a adquirir precisão.

Figura 1 – Processo de puncionamento matriz e punção



Fonte: Brito (2004)

2.1.3 Rebarbas geradas pelo processo de Estampagem

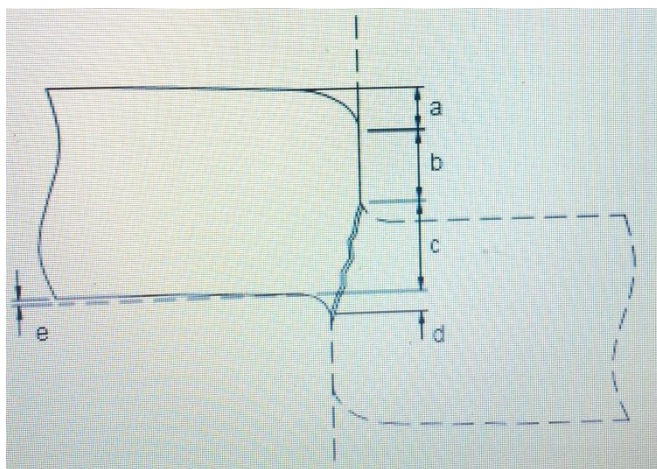
Segundo Souza (2001) uma peça cisalhada com o método de corte convencional proporciona particularidades próprias acarretadas da natureza como as tensões se disseminam nas chapas, essas particularidades definem qualitativamente o processo no que diz respeito à decorrência do corte.

Na figura 2 pode observar as partes principais de uma peça cisalhada, processo onde se inicia a rebarba.

De acordo com a figura 2, cada letra representa um processo que o material sofre antes de ser cisalhado; a) zona de arredondamento; b) zona cisalhada; c) zona fraturada; d) rebarba e) empenamento.

Isso é o que ocorre com o material quando ele é submetido ao processo de cisalhamento, estampagem, puncionamento etc.

Figura 2 – Partes principais de uma peça cisalhada



Fonte: Souza (2001)

2.1.3.1 Processo de rebarbação

Para que se tenha um bom acabamento para a fabricação de peças no processo de usinagem, estampagem, cisalhamento, métodos responsáveis pela geração de tal fenômeno, é necessário a retirada dessas rebarbas em suas arestas.

Operações de rebarbação consistem em retirar as projeções de material além das bordas de uma peça que podem ser geradas pelos processos de estampagem, usinagem ou fundição. A formação de rebarbas ao longo da peça compromete a qualidade da superfície e conseqüentemente reduz a funcionalidade e durabilidade do produto (OLIVEIRA 2011)

O processo de rebarbação tem o objetivo de extrair as rebarbas das arestas de peças e manter a geometria final adentro das tolerâncias dimensionais, ao mesmo tempo dando o acabamento nessa área.

2.2 Pintura

Em geral, os produtos fabricados em aço, alumínio ou até mesmo aços galvanizados pode vir a ser destruídos pela corrosão, para sanar esse o problema uma das soluções adotada é o processo de pintura desses materiais,

onde sua finalidade seria não apenas dar uma aparência estética ou mais agradável ao material, mas também diminuir a rugosidade de superfície, aplicando um revestimento protetor, criando uma barreira entre o metal e o meio corrosivo evitando exposição com o meio ambiente, água e produtos químicos. Define-se o processo de pintura como a aplicação de um revestimento ou película protetora que é depositada sobre o material para que o proteja do fenômeno da corrosão.

Os metais apresentam uma condição termodinâmica instável e tendem a mudar para uma condição estável pela formação de óxidos, hidróxidos, sais etc. Dessa maneira, a corrosão é um processo natural, indesejável. Para combater, ou melhor, atenuar essa tendência termodinâmica dos metais, dispõe-se de vários métodos (GENTIL 2007).

Colaborando com o tema Nunes (2012) afirma que, o aço é o principal material utilizado pela engenharia na construção de equipamentos e instalações, e que sua pouca resistência à corrosão se faz necessário o uso da pintura industrial, que tornou o principal método de proteção anticorrosiva, definindo como processo de pintura industrial a interposição de uma película, em geral orgânica, entre o meio corrosivo e o material metálico que será protegido.

2.2.1 Tratamento de Superfície

Para que o material receba a pintura, deve ser eliminado todo e qualquer tipo de impurezas a que venha existir em sua superfície, de modo que, não interfiram na aplicação e na aderência da tinta, ele deve passar por diversos métodos e técnicas de remoção em sua superfície metálica, esse processo deve anteceder ao da pintura.

A limpeza e a preparação de superfície é, sem dúvida alguma, uma das etapas mais importante para que o revestimento apresente o desempenho esperado. Etapa visa, basicamente, remover os contaminantes da superfície (carepa de laminação, produtos de corrosão, sais, óleos, graxas, tintas velhas e etc.) criar condições que proporciona aderência satisfatória aos revestimentos (GENTIL 2007).

Segundo Oliveira (2012) uma superfície bem limpa, deve encontrar-se livre de quaisquer tipos de impurezas como ferrugem, graxas, sujidade e umidade para que possa oferecer uma excelente base necessária para uma boa proteção por recobrimento, pois uma superfície preparada para determinado acabamento pode não ser adequada a outro tipo de recobrimento.

Apesar dos grandes benefícios que os metais proporcionam ao ser humano e à indústria, eles estão sujeitos a corrosão. Para solucionar esse problema é preciso aperfeiçoar os meios de combate à corrosão. Esses meios consistem, principalmente, de procedimentos relacionados ao tratamento das superfícies de metais.

2.2.2 Tipos de Impurezas

De acordo com Gentil (2007), impurezas são substâncias encontradas na superfície, que interferem no processamento e desempenho da proteção visada, de tal modo, vindo a provocar falhas comuns como o empolamento da pintura, corrosão do substrato, perda de aderência do revestimento, e até mesmo o aparecimento de defeitos mais grave como, por exemplo, crateras e porosidades.

Segundo Oliveira (2012) os tipos de impurezas encontradas nas superfícies de chapas metálicas são;

Impurezas oleosas: São os óleos minerais, óleos graxos, óleo de laminação, de estampagem, de repuxamento de trefilação e óleos protetores contra a corrosão. A maior dificuldade está em sua remoção, pois, quanto mais viscosos forem os óleos minerais, mais difícil será sua remoção; os óleos graxos são os mais fáceis de remover.

Impurezas Semi-sólidas: São parafinas, as graxas, as ceras, os sabões e protetivos anticorrosivos comuns, não apresentam grandes dificuldades de remoção quando executadas por desengraxamento alcalino a quente e por processos de jateamento.

Impurezas sólidas: são impurezas resultantes de tratamentos térmicos; a camada de óxido formada é difícil de ser removida.

Óxidos e produtos de corrosão: São impurezas resultantes de tratamentos térmicos; a camada de óxido formada é difícil de ser removida.

Impurezas essas oriundas dos processos de fabricação do material, tratamentos térmicos, óleos protetivos, entre outros.

2.2.3 Meios de Remoção

Existem determinados procedimentos de remoção de impurezas metálicas, esses elementos de remoção aparecem após serem identificados os tipos de impurezas existentes na superfície metálica, é imprescindível encontrar os apropriados para removê-los; os procedimentos mais utilizados

são: detergência, solubilização, ação química, ação mecânica. (OLIVEIRA 2012).

a) Detergência – onde sua finalidade é remover filmes e sujeira aderida à superfície metálica sem que existam reações diretas com o metal. Para formação de emulsões e solubilização, utiliza-se uma solução de limpeza alcalina que desengraxa a superfície, muitas vezes auxiliada por ação mecânica, por ar comprimido ou jateamento e/ou por circulação de bomba.

b) Solubilização – quando existem óleos de natureza simples ou graxos com baixo grau de contaminação, é possível utilizar solventes para a sua remoção que normalmente são hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos, hidrocarbonetos clorados por cetonas, álcoois e fenóis.

c) Ação química – no processo de decapagem, o objetivo é a utilização da ação destrutiva de certas substâncias de natureza ácida ou de natureza alcalina.

d) Decapagem ácida – o objetivo é remover carepas de laminação, óxido ou outros compostos produzidos pela corrosão, porém, é preciso cuidado com a ativação química da superfície ou a possível fragilização por hidrogênio.

Esses procedimentos de remoção são feitos através de banhos em cabine de pré-tratamento de superfície.

2.2.4 Pintura eletrostática

Segundo Gentil (2007) o processo de pintura eletrostática consiste na aplicação de cargas elétricas na tinta e na superfície a ser protegida, criando uma diferença de potencial da ordem de 100 000 volts provocando a atração da tinta pela superfície, dando origem a uma película de tinta uniforme em termos de propriedades e espessura, são curadas pela ação do calor e ausência de solventes tornando películas de baixa porosidade.

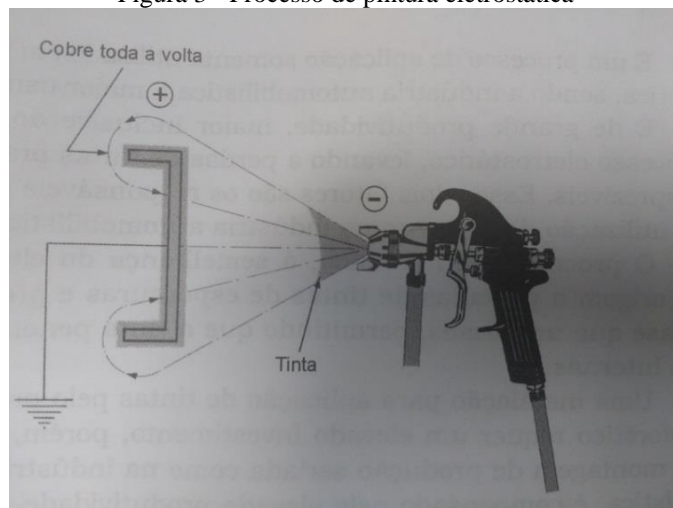
As partículas maiores, por se eletrizarem com mais eficiência que as menores, depositam-se mais rapidamente na superfície a ser revestida. O leque formado na pulverização de tinta a pó que tem a função de espalhar a quantidade de tinta e direcioná-la ao ponto alvo a ser pintado, tende a se enriquecer em partículas finas. O leque de tinta formado por partícula esférica aceita mais rapidamente a carga elétrica do que as com forma irregular (RANSBURG, 1998 apud BASTOS, 2008).

Neste processo de pintura a pistola é ligada ao polo de um gerador e a peça a ser pintada no polo contrário, dentre a peça e a pistola se constitui uma ampla diferença de potencial que energiza a tinta aspergida. A carga elétrica

da tinta é oposta à da peça, por isso, a tinta é atraída pela peça, esse método proporciona vantagens como uma película uniforme, além de promover uma grande produtividade e uma grande economia de tinta. (BASTOS 2008).

Para entender melhor o objetivo da ação a figura 3 ilustra como é o processo de pintura eletrostática.

Figura 3 - Processo de pintura eletrostática



Fonte: Nunes (2012)

Conforme figura 3, o objetivo deste método é de provocar o mecanismo de atração, uma vez que as partículas de são carregadas com cargas negativas onde serão aplicadas nas peças aterradas que permanecem com cargas positivas, de tal modo que ocorre a atração eletrostática.

2.3 Corrosão

Para melhor entender o fenômeno da corrosão, é preciso compreender de que maneira ela acontece, em várias literaturas ela é definida como degradação de um material metálico, seja por um processo químico eletroquímico ou até mesmo meio ambiente, e acontecem com todos os metais ligas de diferentes graus, mas da mesma natureza, tornando seu uso inadequado.

Num aspecto muito difundido e aceito universalmente pode se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química eletroquímica do ambiente associada ou não a esforços mecânicos. A

deterioração causada pela interação físico-química entre o material e seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofrida pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso (GENTIL 2007)

Segundo Ramanathan (1988) corrosão é a reação do metal com elementos do seu meio, onde o metal é convertido para um estado não metálico, onde ocorre a perda de suas qualidades essenciais, tais como, resistência mecânica, elasticidade, ductibilidade e o produto da corrosão formado são carentes dessas propriedades. Ainda afirma que, a reação de corrosão nem sempre necessita de ser a dissolução do metal, pode também ser a formação de óxido ou hidróxido, qual destas duas reações de corrosão ocorrerá, depende do metal e PH da solução aquosa.

Contribuindo com o assunto Dutra (1987) o surgimento da pilha de corrosão é o efeito da diferença de potenciais de eletrodos em dois pontos na superfície do metal em contato com o eletrólito, denominando de pilha ou célula eletroquímica.

Conforme Dutra (1987) para evitar processo de corrosão é preciso entender quais os seus tipos e como pode acontecer esse fenômeno:

- **Corrosão Atmosférica:** Relacionado a processos de estruturas aéreas, o grau de intensidade está ligado com a umidade relativa do ar mais os teores de sais e do teor de gases poluentes na atmosfera em especial o gás de enxofre. A corrosividade é influenciada por outros fatores como chuva, partículas sólidas em suspensão e ventos.
- **Corrosão pela Água:** Notado em estruturas em contato com meios aquosos, como estacas de píer, tubulações submersas, embarcações, instalações de água de refrigeração, instalações de geração de vapor e instalações de tratamento e distribuição de água. Nas estruturas submersas em água doce as taxas de corrosão dependem da quantidade de sais, ácidos ou bases dissolvidas. As estruturas submersas em água salgada estão sujeitas a amplas taxas de corrosão, que poderão ainda ser aumentadas pela presença de poluentes. Diferentes fatores como velocidade e temperatura, bactérias, aeração são atuantes na corrosividade das águas.

2.4 Teste de Nevoa Salina

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 1983) define-se como ensaio de corrosão por exposição a nevoa salina o material

metálico revestido ou não revestido, onde o material é exposto a um ambiente corrosivo controlado e desenvolvido para avaliar a evolução e desempenho dos revestimentos.

2.4.1 Equipamento

O equipamento requerido para exposição à nebulização salina consiste de uma câmara de nevoa, um reservatório de solução salina, um suprimento de ar comprimido devidamente condicionado, um ou mais bicos pulverizadores, suporte para corpos de prova, dispositivos para aquecimento da câmara e meios de controle necessários. (ASTM B117).

2.4.2 Solução salina

Conforme a ABNT (1983) a solução aquosa deve conter 5% de cloreto de Sódio (Na Cl), dissolvendo-se de 50 ± 5 g em volume de água, permitindo a obtenção de 1L de solução à temperatura ambiente, o sal empregado precisa ter teores de níquel e cobre individualmente inferiores a 0,001% e não conter mais do que 0,3 % de impurezas totais, o Cloreto contendo agentes anti-aglutinantes não deverão ser usados, pois tais agentes poderão agir como inibidores de corrosão. Após a pulverização em temperatura de 35°C o pH da solução da solução deve apresentar na faixa 6,5 a 7,2 determinado a $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. A água a ser empregada para o preparo da solução salina deve ser destilada ou desmineralizada, carecendo de ser filtrada para que não haja a obstrução dos bicos de pulverização.

2.4.3 Corpos de Prova

Os corpos de prova metálicos ou com revestimentos metálicos devem ser limpos adequadamente. O número de corpos de prova em cada avaliação não deve ser inferior a três, o número de corpos de prova de controle deve ser no mínimo um ABNT (1983).

2.4.4 Disposição dos corpos-de-prova

Segundo ABNT (1983) os corpos de prova devem ser colocados somente na câmara de ensaio, onde o meio corrosivo satisfaça a todos os parâmetros especificados para as condições da câmara obedecendo aos seguintes requisitos:

Os corpos de prova planos devem ser colocados em ângulo de 15° a 30° com a vertical, desde que não haja especificações em contrário.

- a) Os corpos de prova não devem entrar em contatos entre si, nem com qualquer outro material, metálico ou não, capaz de modificar as condições da corrosão do corpo de prova
- b) Cada corpo de prova deve ser colocado na câmara de forma a permitir o livre acesso da nevoa a todos os outros ensaios
- c) A solução de ensaio escorrida de um corpo de prova não deve gotejar sobre os outros
- d) A área de contato entre o corpo de prova e seu suporte deve ser a menor possível

2.4.5 Temperatura

Em relação à temperatura a norma ABNT (1983) diz que a câmara de ensaio precisa permanecer entre $35 \pm 2^\circ \text{C}$ e que devem ser analisadas com constância para que toda a oscilação seja observada.

2.4.6 Quantidade e distribuição da Nevoa

Segundo ABNT (1983) a quantidade da solução a ser pulverizada no interior em uma área de coleta aproximadamente 80 cm² deve ser recolhido em cada coletor em média de 1 a 2 ml por hora em um período mínimo de 16 horas, e a concentração de cloreto de sódio também recolhido nessa solução deve ser entre 6,5 a 7,2 seu pH.

2.4.7 Duração do ensaio

De acordo com a norma ABNT (1983) a duração do teste é estabelecida e especificada através de combinação entre as partes envolvidas, e que seu início é contabilizado no momento em que as condições operacionais sejam atendidas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para efetuar este estudo foram preparados seis corpos de prova de aço SAE 1008 com espessura de 1,9 mm e dimensões de 100x200 mm, para cada estudo de corrosão por exposição de nevoa salina.

A figura 4 ilustra o primeiro corpo de prova disposto para o teste, com os cantos vivos e sem o processo de arredondamento.

Figura 4 – Corpo de prova cantos vivos

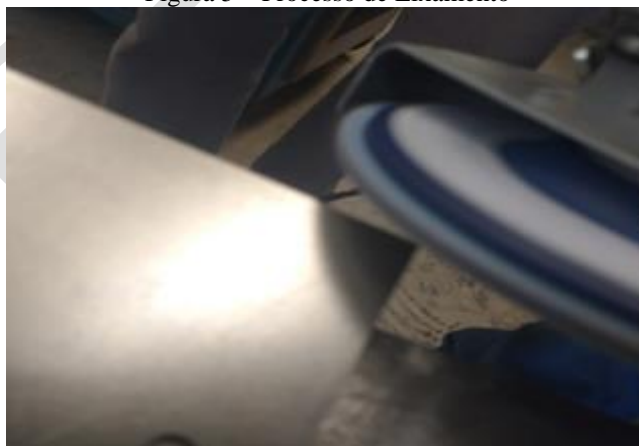


Fonte: Próprio Autor

Esse é o processo adotado pela empresa nos dias atuais, antes de serem enviados para o setor de pintura, sem sofrer qualquer tipo de acabamento.

Logo o segundo corpo de prova foi submetido ao processo de lixamento, sendo feito o arredondamento das bordas e quebra de cantos vivos. Conforme mostra a figura 5.

Figura 5 – Processo de Lixamento



Fonte: Próprio Autor

Esse processo ocorreu após as peças serem cortadas, foi utilizada uma lixadeira de disco flap para o processo de rebarbação e quebra de cantos vivos. Já a figura 6 mostra o corpo de prova com suas bordas arredondadas e livres de rebarbas.

Figura 6 – Corpos de prova com cantos arredondados



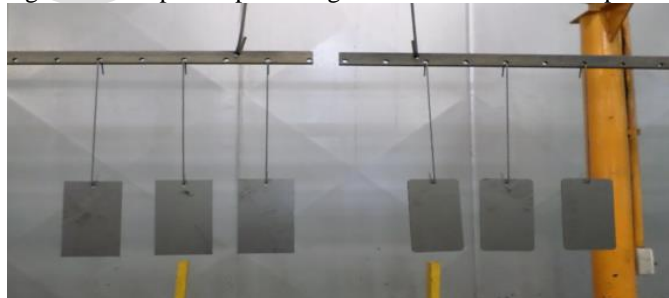
Fonte: Próprio Autor

De acordo com a figura 6 o processo de rebarbação se faz necessário para que haja um melhor acabamento no material.

Em seguida o material foi enviado para o setor de pintura, onde foi engancheado em uma corrente transportadora que conduz os corpos de prova para as cabines de lavagem e tratamento de superfície, antes da aplicação de tinta a pó, estas cabines são responsáveis pelo processo de remoção das impurezas, tais, como óleos minerais, óleos protetores contra corrosão, graxas, óxidos gerados pelo processo de laminação.

A figura 7 mostra os corpos de prova engancheado antes de ser pintados e submetidos ao tratamento de superfície dentro das cabines de pintura.

Figura 7 – Corpos de prova engancheado na cabine de pintura



Fonte: Próprio Autor

Logo após o processo de lavagem e pré-tratamento dos corpos de provas ocorre à formação de uma fina película transparente bi cromatizada que tem o desempenho de isolamento e fixação para a camada de tinta a ser sobreposta.

Os corpos de prova receberam devidamente o tratamento de superfície antes de ser aplicada a pintura eletrostática a pó, no processo de tratamento de superfície foi utilizado o desengraxante alcalino, o banho de nanosilano produto utilizado para aderência da tinta no material, posteriormente a aplicação da tinta com uma espessura média de 50 – 80 microns e em seguida foram enviados para o teste de névoa salina.

A tabela 1 descreve as etapas do tratamento de superfície, realizadas nos corpos de prova antes do teste de Salt Spray.

Tabela 1- Etapas processo de tratamento de superfície

Etapas	Processos
1. Desengraxe	Desengraxe com concentração de 2% de tenso ativo, separador de óleo da água.
2. Desengraxe	Desengraxe com concentração de 1% de tenso ativo, separador de óleo da água.
3. Primeiro enxague	Enxague corpo de prova em água normal
4. Segundo enxague	Enxague corpo de prova em água normal
5. Terceiro enxague	Enxague de Água Desmineralizada
6. Nanosilano	Camada de conversão e para recebimento da tinta
7. Enxague	Enxague de Água Desmineralizada
8. Forno de secagem	Temperatura de 170° C
9. Aplicação do revestimento	Tinta Pó Híbrida
10. Estufa de polimerização	Cura da tinta, onde a tinta a pó passa do estado sólido para o líquido em uma temperatura de 220° C

Fonte: Autor

As etapas da tabela 1 são realizadas em todas as peças antes de ser enviados para o processo seguinte, onde ocorre o processo de pintura.

Posteriormente o material é alocado na câmara de nevoa salina onde é acompanhado o tempo de evolução da corrosão, no período de 24 horas. A figura 8 ilustra o modelo de máquina utilizado para os testes de Salt Spray.

Figura 8 – Câmara de Salt Spray

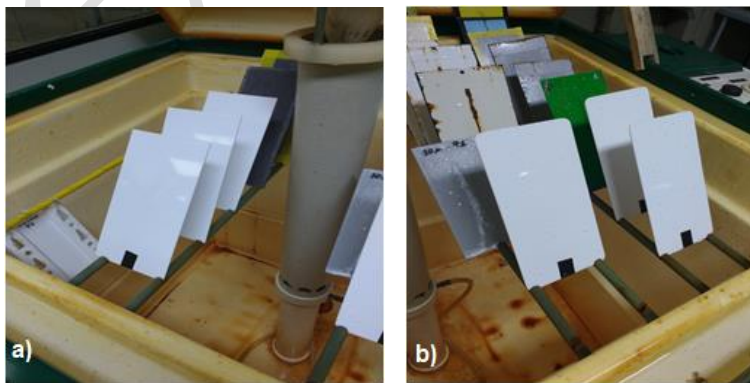


Fonte: Proprio Autor

Essa câmara de Salt Spray atende aos requisitos das normas da ASTM B117, tendo um reservatório de solução salina, suprimento de ar comprimido e bicos pulverizadores, suporte para corpos de prova e dispositivos de aquecimento e métodos de controle necessários para o processo.

Na figura 8 a) apresenta a parte interna da câmara de Salt Spray com o corpo de prova com cantos vivos. Em seguida a figura 8 b) traz o corpo de prova com os cantos arredondados.

Figura 8 a) Corpo de prova com cantos vivos. Figura 8 b) Corpo de prova com cantos arredondados



Fonte: Próprio Autor

A figura 8a refere-se ao corpo de prova de cantos vivos, já a figura 8b trata-se de dos corpos com cantos arredondados. Os corpos foram inseridos na câmara com as mesmas condições e parâmetros utilizados no processo fabril.

Após o aparecimento dos primeiros pontos de corrosão serem identificados, será feita a medição do tempo em que o material ocorreu para tal fenômeno, análise que serão apresentados no próximo capítulo.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos ensaios tomados como testes aceleradores de intempéries, como resistência à névoa salina, houve diferença de tempo entre o corpo de prova com cantos vivos e os de bordas arredondadas. Os corpos de prova que sofreram a intervenção do processo de rebarbação teve um ganho de tempo a exposição de névoa salina, apresentando bom desempenho da barreira de proteção da tinta nas bordas do material, fazendo com que o aparecimento da corrosão apresentasse tempo superior em relação a peça com cantos vivos.

Para os corpos de prova com cantos vivos obtiveram os resultados de 43,2 horas, tempo equivalente a menos de dois dias, sobre a seguinte condição de uso para realizar o teste de Salt Spray, temperatura da sala variou-se entre 18-28°C, a solução empregada nos testes foi a NaCl 5% com 6,5 a 7,5 o seu ph, em uma temperatura no processo de aproximadamente de 35°C ± 2° C, conforme especificado na norma NBR 8094. Na figura 9 em uma vista aproximada é notória o aparecimento da corrosão em uma de suas arestas.

Figura 9 – Aparecimento da corrosão



Fonte: Próprio Autor

Sem a retirada dos cantos vivos do material a peça com rebarba apresenta pouca proteção da tinta em suas bordas, tornando mais suscetível à corrosão, uma vez que a área de cobertura da tinta tem menos cobrimento devido a fuga da tinta nas arestas cortantes das bordas.

A figura 10 em uma imagem mais ampla destaca toda a peça com pequenos pigmentos de corrosão, apresenta em quase que toda sua extensão.

Figura 10 – Aparecimento da corrosão



Fonte: Próprio Autor

Para os corpos de prova com cantos arredondados obtiveram os resultados de 386 horas, tempo equivalente a dezesseis dias, sobre as mesmas condições de uso que utilizou para realizar o teste no processo anterior.

A figura 11 em uma vista aproximada mostra a peça com suas arestas arredondadas com início da corrosão após 386 horas no Salt spray.

Figura 11 – Peças com início de corrosão após 386 horas no Salt spray



Fonte: Próprio Autor

A corrosão é visível, porem a proteção da tinta nas bordas é maior que na dos cantos vivos, tendo uma área maior para o cobrimento da tinta em toda sua superfície. Mostrando que as peças em que são rebarbadas se tornem menos suscetível ao início do processo de corrosão.

A figura 12 em uma imagem mais ampla destaca toda a peça com pequenos pigmentos de corrosão em sua extensão após 386 horas no teste de Salt Spray.

Figura 12 – Peça com pequenos pigmentos de corrosão



Fonte: Próprio Autor

A figura 12 mostra o corpo de prova com a corrosão pouco acentuada mostrando que o material com o devido acabamento sem aparição de rebarba trazendo maior vida útil ao produto.

A partir das análises dos ensaios de teste de Salt Spray para os dois modelos de corpos de prova, notou-se que os resultados encontrados foram diferentes para as determinadas situações.

A tabela 2 mostra os parâmetros e os resultados obtidos em cada um dos corpos de prova analisado conforme certificado gerado na empresa, nele é possível visualizar detalhes como material utilizado objetivo da avaliação, parâmetros de tinta, normas que regem o processo entre outros.

Tabela 2- Comparativo entre os processos

Descrição das Amostras	Cantos Vivos	Cantos Arredondados
Objetivo do ensaio	Determinação do tempo máximo de resistência a oxidação	Determinação do tempo máximo de resistência a oxidação
Corpo de prova	Chapa de aço carbono laminada a quente 100 x 200 mm	Chapa de aço carbono laminada a quente 100 x 200 mm
Pré-tratamento	Desengraxante alcalino	Desengraxante alcalino
Tratamento de superfície	Nanosilano	
Acabamento no metal	Tinta eletrostática a pó Híbrida	Tinta eletrostática a pó Híbrida
Cor da tinta aplicada	BRP-Branco 2006	BRP-Branco 2006
Polimerização	10 minutos a 180 graus	10 minutos a 180 graus
Concentração	0,3 Abs	0,3 Abs
Espessura média	50 a 80 µm	50 a 80 µm
Normas utilizadas	ABNT NBR 8094 e ASTM B117	ABNT NBR 8094 e ASTM B117
Instruções de trabalho utilizadas	IT.CQ.005	IT.CQ.005
Avaliação	Áreas das bordas a cada 24 horas até o aparecimento de oxidação na superfície	Áreas das bordas a cada 24 horas até o aparecimento de oxidação na superfície
Resultado esperado	500 horas	500 horas
Tempo de ensaio	386,8 horas	43,2 horas

Fonte: Próprio Autor

O resultado esperado em 500 horas baseia-se na garantia que a empresa dá aos seus produtos em inclusão a garantia da superfície coberta pela tinta, esse acordo foi definido entre as partes envolvidas, de acordo com NBR 8094 em relação a duração dos ensaios.

5 CONCLUSÃO

O trabalho comparativo entre os dois tipos de corpo de prova compreende a reprodução dos processos no cenário fabril, os ensaios e

simulações permite uma avaliação fundamentada em normas e procedimentos, a fim de eleger o processo mais adequado, para sua aplicação.

O corpo de prova com cantos vivos apresentava cobertura de tinta suficiente para a proteção por barreira física, porém, no teste de nevoa salina constatou oxidação logo nas primeiras horas do teste, sendo reprovado por não atingir o tempo estimado para garantia das qualidades e proteção do material.

Já o corpo de prova com arredondados e livres de rebarbas, apresentava cobertura de tinta suficiente para a proteção por barreira física, apresentando melhor desempenho comparando-se ao método anterior.

Quando comparado as duas situações, verificamos que o ganho na qualidade de proteção do revestimento para os corpos de prova com cantos arredondados foi de aproximadamente nove vezes a mais ao tempo de exposição no teste de Salt Spray sobre mesma condição, tornando satisfatório para validação do processo.

Com isso se faz necessário o processo de rebarbação nas bordas do material, diminuindo o tempo do aparecimento da corrosão, melhorando o processo de proteção da pintura nas extremidades do local aumentando o tempo de vida útil da peça.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Norma NBR 8094** – Material metálico revestido e não-revestido: corrosão por exposição à névoa Salina. Rio de Janeiro, 1983.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM B 117 3**: Operação de Equipamento de Pulverização (Nebulização) Salina. Filadélfia, 2003.

BASTOS, C.Oliveira. **Estudo comparativo das propriedades dos revestimentos obtidos pela aplicação de tintas líquidas e a pó em peças metálicas em sistemas de pintura eletrostática**. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Ipt, São Paulo, 2008. Cap. 1. Disponível em: <[http://www.livrosgratis.com.br/busca/Salt Spray/1](http://www.livrosgratis.com.br/busca/Salt%20Spray/1)>. Acesso em: 18 maio 2017.

BRITO, Osmar de. **Técnicas e aplicações dos estampos de corte/** punções, matrizes, espigas de fixação, placas de guia, limitadores, cunhas, estampos fechados, abertos e progressivos. São Paulo: Hemus, 2004. 194p.

CALLISTER JUNIOR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 817 p.

DUTRA, A. C.; NUNES, L. D. P. Proteção Catódica. In: DUTRA, A. C.; NUNES, L. D. P. **Proteção Catódica Técnica de Combate à Corrosão**. 1.º ed. RIO DE JANEIRO: Editora Técnica Ltda, 1987. p. 202.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5.º ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007. 360 p.

NUNES, Laerce de Paula; LOBO, Alfredo Carlos O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. 4. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 413 p.

OLIVEIRA, A. R. **Corrosão e Tratamento de Superfície** – Belém: IFPA; Santa Maria: UFSM, 2012. 104p.

POLACK, Antônio Valenciano, **Manual prático de estampagem: breve tratado teórico-prático para os mecânicos e profissionais desta especialidade**. São Paulo: Hemus, [2004]. 203 p.

RAMANATHAN, Lalgudi V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Hemus, s. d.. 339 p.

SILVA, André Luiz V. da Costa e; MEI, Paulo Roberto. **Aços e ligas especiais**. São Paulo: Blucher, 2006. 646 p.

SILVA, Silvio Domingos da; **Pintura Industrial em Pó**; Guaramirim – SC; WEG indústria S.A. - tintas; janeiro de 2009. Disponível em: <http://www.weg.net/files/products/WEG-pintura-industrial-em-po-manualportugues-br.pdf>. Acesso em 5 de setembro de 2011.

SOUZA, João Henrique Correia de. **Estudo do processo de corte de chapa por cisalhamento**. 2001. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Ipt, São Paulo, 2008. Cap.

1. Disponível em: <[http://www.livrosgratis.com.br/busca/Salt Spray/1](http://www.livrosgratis.com.br/busca/Salt%20Spray/1)>. Acesso em: 18 maio 2017.

OLIVEIRA, Bruno Brogio de. **Identificação Automática de Rebarbas em Peças Fundidas: Uma Contribuição para a Automação do Processo de Rebarbação.** 2011. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'oeste, São Paulo, 2011.

e-TEC

ANEXO A

CERTIFICADO DE ANÁLISE		N° DO ENSAIO:
ENSAIO DE SALT SPRAY		77,78,79 17
1. DESCRIÇÃO DO ENSAIO		
1.1. OBJETIVO DO ENSAIO		
Finalidade:	<i>Determinação do tempo máximo de resistência à oxidação.</i>	
Região avaliada:	<i>Avaliação do efeito de borda.</i>	
Fornecedor avaliado:	<i>nenhum.</i>	
Descreva outro:		
1.2. SOLICITANTE		
Nome / Função / Empresa:	<i>Cleber</i>	
Data:	<i>10/05/2017</i>	
1.3. CORPO DE PROVA		
Quantidade:	<i>3</i>	Dimensão: <i>padrão 100x200 mm</i>
Substrato:	<i>aço carbono</i>	Característica: <i>laminado a quente decapado e oleado</i>
Material:	<i>chapa padrão</i>	Descrever: <i>Chapa sem rebarba</i>
1.4. METODOLOGIA DE PREPARO DO CORPO DE PROVA		
Pré-tratamento:	<i>desengraxante alcalino</i>	Concentração: <i>0,3 Abs</i>
Tratamento superfície:	<i>nanosilano</i>	Espessura média: <i>50-80 µm</i>
Acabamento no metal:	<i>tinta eletrostática pó híbrida</i>	Código da tinta: <i>10067</i>
Cor da tinta aplicada:	<i>BRP-BRANCO 2006</i>	Processamento: <i>nenhum</i>
Polimerização:	<i>10 minutos a 180°C</i>	Descreva outros:
1.5. NORMAS UTILIZADAS		
ABNT NBR 8094:	<i>prescreve o método para execução e avaliação de ensaios de exposição à névoa salina em materiais metálicos revestidos e não revestidos. Contempla o preparo das amostras;</i>	
ASTM B117:	<i>abrange aparelhos, procedimento e condições necessárias para criar e manter o sistema de pulverização de sal.</i>	
1.6. INSTRUÇÕES DE TRABALHO UTILIZADAS		
IT.CQ.005:	<i>Análise de espessura do filme de tinta.</i>	Específ.: <i>50 - 125 µm</i>
1.7. AVALIAÇÃO		
Região estudada:	<i>área de bordas.</i>	Descreva outros:
Periodicidade:	<i>a cada 24 horas.</i>	
Término avaliação:	<i>até o aparecimento de oxidação na superfície da área estudada.</i>	
1.8. RESULTADO ESPERADO PARA O ENSAIO DE SALT SPRAY		
Mínimo:	<i>500 horas</i>	Descreva outro:
1.9. TEMPO DE ENSAIO		
Início do ensaio:	<i>29/05/2017</i>	Horímetro início: <i>41999,4 horas</i>
Término do ensaio:	<i>21/06/2017</i>	Horímetro fim: <i>42386,2 horas</i>
Tempo total de ensaio:	<i>23 dias</i>	Tempo de névoa: <i>386,8 horas</i>

ANEXO B

CERTIFICADO DE ANÁLISE		N° DO ENSAIO:
ENSAIO DE SALT SPRAY		80,81,82 /17
1. DESCRIÇÃO DO ENSAIO		
1.1. OBJETIVO DO ENSAIO		
Finalidade:	<i>Determinação do tempo máximo de resistência à oxidação.</i>	
Região avaliada:	<i>Avaliação do efeito de borda.</i>	
Fornecedor avaliado:	<i>nenhum.</i>	
Descreva outro:		
1.2. SOLICITANTE		
Nome / Função / Empresa:	<i>Cleber</i>	
Data:	<i>10/05/2017</i>	
1.3. CORPO DE PROVA		
Quantidade:	<i>3</i>	Dimensão: <i>padrão 100x200</i> mm
Substrato:	<i>aço carbono</i>	Característica: <i>laminado a quente decapado e oleado</i>
Material:	<i>chapa padrão</i>	Descrever: <i>Chapa com rebarba</i>
1.4. METODOLOGIA DE PREPARO DO CORPO DE PROVA		
Pré-tratamento:	<i>desengraxante alcalino</i>	Concentração: <i>0,3</i> Abs
Tratamento superfície:	<i>nanossilano</i>	Espessura média: <i>50-80</i> µm
Acabamento no metal:	<i>tinta eletrostática pó híbrida</i>	Código da tinta: <i>10067</i>
Cor da tinta aplicada:	<i>BRP-BRANCO 2006</i>	Processamento: <i>nenhum</i>
Polimerização:	<i>10 minutos a 180°C</i>	Descreva outros:
1.5. NORMAS UTILIZADAS		
ABNT NBR 8094:	<i>prescreve o método para execução e avaliação de ensaios de exposição à névoa salina em materiais metálicos revestidos e não revestidos. Contempla o preparo das amostras;</i>	
ASTM B117:	<i>abrange aparelhos, procedimento e condições necessárias para criar e manter o sistema de pulverização de sal.</i>	
1.6. INSTRUÇÕES DE TRABALHO UTILIZADAS		
IT.CQ.005:	<i>Análise de espessura do filme de tinta.</i>	Especific.: <i>50 - 125 µm</i>
1.7. AVALIAÇÃO		
Região estudada:	<i>área de bordas.</i>	Descreva outros:
Periodicidade:	<i>a cada 24 horas.</i>	
Término avaliação:	<i>até o aparecimento de oxidação na superfície da área estudada.</i>	
1.8. RESULTADO ESPERADO PARA O ENSAIO DE SALT SPRAY		
Mínimo:	<i>500 horas</i>	Descreva outro:
1.9. TEMPO DE ENSAIO		
Início do ensaio:	<i>29/05/2017</i>	Horímetro início: <i>41999,4</i> horas
Término do ensaio:	<i>31/05/2017</i>	Horímetro fim: <i>42042,6</i> horas
Tempo total de ensaio:	<i>2 dias</i>	Tempo de névoa: <i>43,2</i> horas