



# ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO  
ON-LINE

02 a 04  
de dezembro 2020

## Implantação de pré-tratamento nano tecnológico no processo de pintura eletroforética para rodas de aço automotivas

**José Rinaldo Cristan Papa**

Engenharia de Produção – Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP

**Victor Hugo de Mello**

Engenharia de Produção – Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo avaliar o processo de pintura de uma empresa fabricante de rodas automotivas de aço com foco no sub processo de pré-tratamento. Serão avaliadas as adequações e investimento necessário para substituição do processo convencional a base de fosfato para o processo nano tecnológico. Para este fim será realizada uma análise macro do processo de pintura como um todo e um comparativo detalhado entre o processo de pré-tratamento atual em relação ao processo proposto. Feito este comparativo, serão elencados os pontos de mudanças necessárias, benefícios e dificuldades, tendo como saída do trabalho um relatório completo com o escopo do projeto.

**Palavras-chave:** Pintura industrial, Pré-tratamento, Nanotecnologia, Indústria de autopeças

## Implantation of nano technological pretreatment in the process of electrophoretic painting for automotive steel wheels

**Abstract:** This paper has the objective of evaluate the painting process in a steel wheel manufacturer company focused in the pre-treatment process. It will be evaluated the adjustments and investments needed to substitute the conventional phosphate-based process to nanotechnology-based process. For this purpose, a macro analyses will be done in the whole painting process and a detailed comparative between the actual pre-treatment process in relation to the proposed process. After this comparison, the changing needs, benefits and difficulties will be listed, having as a result the complete report with the project scope.

**Keywords:** Industrial painting, Pre-treatment, Nanotechnology, Auto parts industry

### 1. Introdução

O processo de pintura eletroforética é amplamente utilizado para peças e componentes metálicos e sua correta aplicação exige inúmeros cuidados com questões ambientais, de segurança do trabalho e atendimento das especificações de normas técnicas e de clientes. Uma parte importante deste processo de pintura é o pré-tratamento, que fornece a base para garantir a limpeza e proteção às peças quanto à corrosão. Existem diversos tipos de pré-tratamento utilizados neste processo, sendo destacados neste trabalho o pré-

tratamento à base de fosfato e o pré-tratamento nano tecnológico. O pré-tratamento de pintura a base de fosfato demanda um processo com uma extensa série de etapas, sendo que, em uma destas etapas há a geração de resíduos indesejáveis. Este resíduo é chamado de lama ou borra de fosfato e, se não tratado adequadamente, pode gerar danos a pintura e também ao meio ambiente.

A aplicação da nano tecnologia no pré-tratamento vem como uma alternativa a este processo, pois reduz a quantidade de etapas necessárias, elimina a necessidade de aquecer a temperatura dos banhos e reduz drasticamente a quantidade de resíduos gerados, trazendo benefícios para a empresa e o meio ambiente, sem deixar de atender os requisitos de desempenho exigidos pelas normas e clientes.

## 2. O processo de pintura eletroforética

O processo de pintura eletroforética, também chamado de pintura por imersão com corrente elétrica, consiste na transferência das partículas de tinta em uma solução à base de água para uma determinada peça através da geração de um campo elétrico. Neste processo é necessário a imersão das peças sobre um tanque de tinta no qual, através da diferença de potencial gerada pelo campo elétrico, as peças receberão a tinta (FERNANDES, GNECCO, MARIANO, 2003).

A finalidade principal deste processo é garantir a proteção da peça contra corrosão, mas também possui outras finalidades, como: estética, impermeabilização, auxílio na segurança industrial, entre outros. Porém, para obter sucesso dentro deste processo, principalmente em relação a proteção anticorrosiva, é necessário um sistema de pré-tratamento adequado e eficiente (NUNES, LOBO, 2007).

### 2.1 Pré-tratamento da superfície

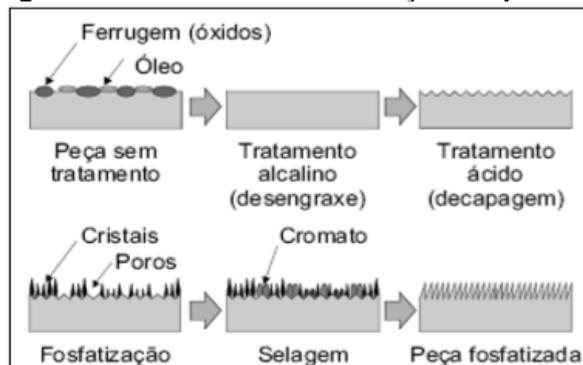
É o início do processo da pintura e tem como principais funções: limpar a superfície da peça de contaminantes e gerar um revestimento cristalino de conversão que melhora a adesão da tinta. Este revestimento em conjunto com a eletrodeposição da tinta reduz a incidência de corrosão sob a pintura (FERNANDES, GNECCO, MARIANO, 2003).

#### 2.1.1 Fosfatização

É um dos processos de pré-tratamento mais utilizados na indústria para sistemas de pinturas. Consiste na formação de uma camada de zinco sobre um substrato metálico através de reações químicas. Esta camada é cristalina e uniforme, porém sem a aplicação posterior da pintura não pode ser considerada como proteção anticorrosiva. A partir da aplicação da pintura há uma sinergia entre as camadas de fosfato e de tinta, aumentando muito a eficiência contra a corrosão (BARITS, REIS, 2000).

A figura 1 abaixo representa esquematicamente o processo de fosfatização simplificado.

Figura 1 – Processo de fosfatização simplificado



Fonte: FERNANDES, GNECCO, MARIANO (2003)

O processo de fosfatização dispõe de diferentes opções para atender os mais diversos processos, cada uma delas com propriedades únicas. A tabela 1 abaixo descreve os três principais tipos de fosfato.

Tabela 1 – Tipos de fosfato			
Tipo de fosfato	Processo	Coloração	Propriedades
Fosfato de ferro	Pulverização	Cinza claro ou cinza escuro	Melhor aderência
Fosfato de zinco	Imersão ou Pulverização	Azulada	Melhor resistência anticorrosiva
Fosfato de zinco, manganês e níquel	Imersão	Cinza escuro à marrom escuro	São chamados de fosfatos tricatiônicos, com excelente resistência anticorrosiva e aderência. São fosfatos de última geração.

Fonte: Adaptado de FERNANDES, GNECCO, MARIANO (2003)

Independentemente do tipo de fosfato utilizado no processo é necessária uma série de estágios para formação de uma camada eficiente sobre um substrato metálico. Em cada um destes estágios há um banho contendo alguma solução química ou água para lavagem da peça tratada. A figura 2 abaixo representa a sequência típica dos banhos de um processo de fosfatização.



Fonte: FERNANDES, GNECCO, MARIANO (2003)

Na etapa 1 o desengraxe alcalino tem como função eliminar sujidades da peça. Na etapa 2 a decapagem ácida elimina óxidos e resíduos metálicos, porém esta etapa é aplicada apenas para alguns tipos de processos. Na etapa 3 o refinador proporciona uma superfície adequada ao substrato para receber o fosfato. Na etapa 4 a fosfatização tem como objetivo gerar a camada de fosfato sobre a peça. Na etapa 5 a passivação realiza um pós-tratamento ao fosfato. Finalmente, na etapa 6 há a secagem da peça através de estufa, porém esta etapa é aplicada apenas para alguns tipos de processos.

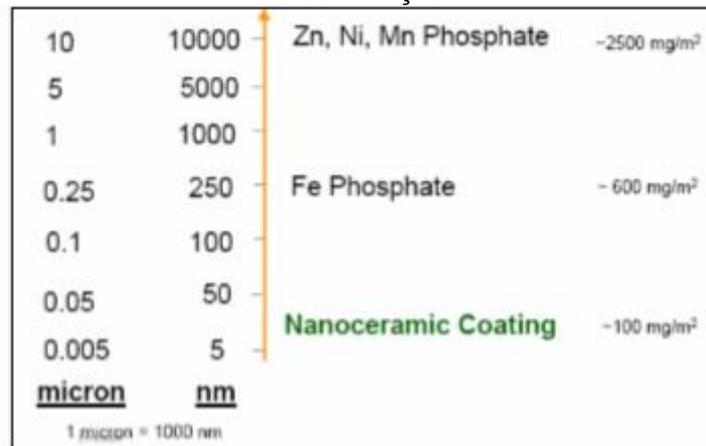
Entre todas as etapas há operações de lavagem com água potável, com exceção após a passivação que a lavagem é realizada com água deionizada.

### 2.1.2 Processo nanocerâmico

Faz parte de uma nova geração de processos de pré-tratamento como alternativa ao processo de fosfatização. A característica principal deste revestimento é a formação de uma camada com espessura do filme bem fina, em escala nanométrica, servindo como proteção anticorrosiva e base para a pintura. A figura 3 abaixo compara a espessura dos

filmes protetivos dos pré-tratamentos nanocerâmico (Nanoceramic Coating), fosfato de ferro (Fe Phosphate) e fosfato tricatiónico (Zn, Ni, Mn Phosphate) (BOSSARDI, 2007).

**Figura 3 – Espessura do filme nanocerâmico comparado com os filmes obtidos pelos processos de fosfatização**



Fonte: BOSSARDI (2007)

Este processo apresenta benefícios na área ecológica pois são livres de metais pesados, como: níquel, manganês, zinco, fósforo e cromo e também reduzem substancialmente a quantidade de resíduos gerados no processo. Também apresenta vantagens na área econômica pois reduz a quantidade de estágios dentro do processo, elimina a necessidade de aquecimento dos banhos (trabalha em temperatura ambiente) e não exige investimentos para tratamento dos resíduos gerados (BOSSARDI, 2007).

Os ganhos desta tecnologia refletem diretamente no processo, pois proporciona alto desempenho no pré-tratamento, requer menos etapas no processo devido a reação ser de conversão da superfície ferrosa e não da deposição de cristais (fosfatização), o que permite eliminar processos como o refinador de cristais e a passivação.

Desta forma a empresa que opta por esta tecnologia dispensa a necessidade de aquisição de tanques para imersão, sistemas de aquecimento e reduz o espaço necessário no layout da fábrica (MOTA, SOUZA, 2014).

A figura 4 abaixo representa a sequência típica de um processo de pré-tratamento nanocerâmico.

**Figura 4 – Processo nanocerâmico**



Fonte: MOTA, SOUZA (2014)

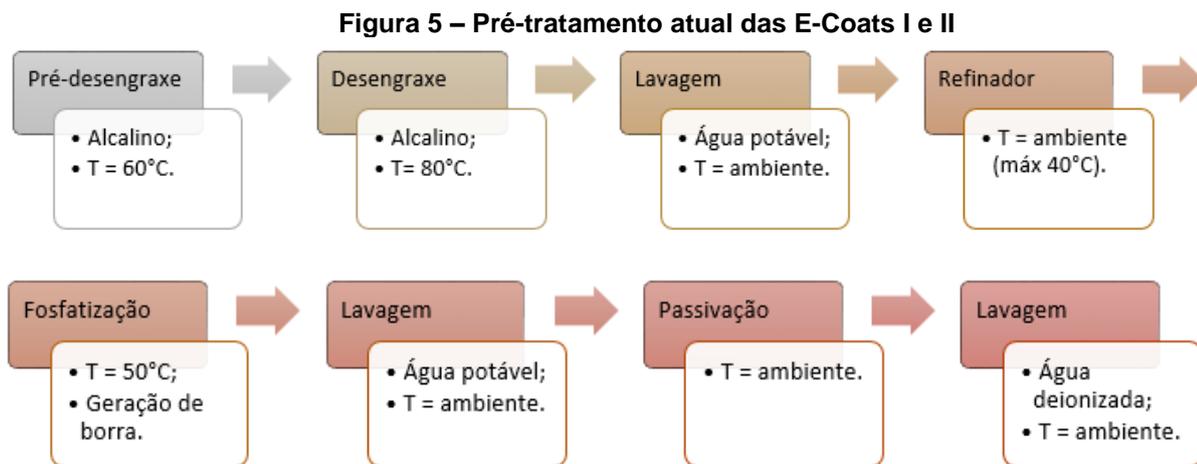
Inicia-se o processo com o desengraxe para eliminar sujidades da peça. Em seguida a peça é submetida a 2 enxagues, sendo o primeiro com água potável e o segundo com água deionizada. Após os enxagues vem a aplicação da camada nanocerâmica sobre a peça. Finalmente a peça é submetida a mais 2 enxagues com água deionizada. Conforme ilustrado na figura, com exceção do desengraxe, todas as etapas são realizadas em temperatura ambiente.

### 3. Estudo de caso

A empresa referida é uma multinacional que atua na fabricação de rodas de aço e alumínio a mais de 100 anos, atendendo as principais montadoras de veículos nos mercados nacional e de exportação. No escopo deste trabalho será considerada a planta fabricante de rodas de aço para veículos leves localizada no interior do Estado de São Paulo.

#### 3.1 Cenário atual

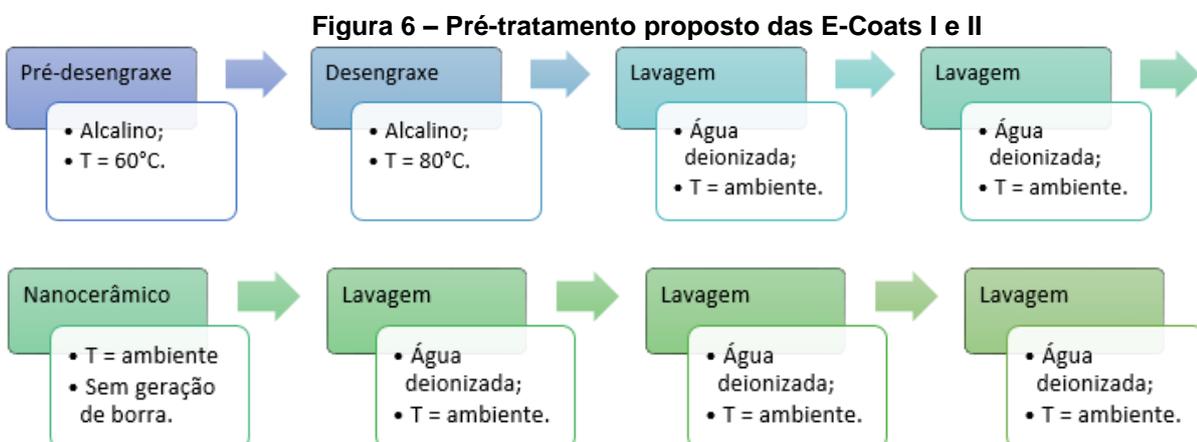
Na instalação de pintura eletroforética da empresa há 2 linhas completas que atendem 100% do volume de produção. Estas linhas são chamadas de E-Coat I e E-Coat II e utilizam-se do pré-tratamento à base de fosfato tricatiónico (Zinco, Níquel e Manganês). A figura 5 apresenta a sequência dos banhos do pré-tratamento das E-Coats I e II.



Este processo, conforme mencionado no subitem 2.1.1, é o mais utilizado atualmente na indústria para esta finalidade e atende a todos os requisitos exigidos pelos clientes e normas, porém, para se manter competitivo e inovador no mercado, é necessário buscar por otimizações e reduções de custos dentro dos processos industriais.

#### 3.2 Cenário proposto

Conforme descrito no subitem 2.1.2, o processo de pré-tratamento nano tecnológico traz inúmeros benefícios em sua aplicação. A figura 6 abaixo representa a sequência dos banhos utilizando o pré-tratamento nanocerâmico para as E-Coats I e II.



Realizando um comparativo com o pré-tratamento atual é possível notar que, com exceção das etapas de pré-desengraxe e desengraxe que continuam necessitando de aquecimento, todas as demais etapas trabalham em temperatura ambiente. A remoção das etapas do

refinador e da passivação trazem ganhos na eliminação do uso de produtos químicos e o processo nanocerâmico não gera borra que necessita de tratamento para disposição. Porém, para implantação do novo pré-tratamento são necessárias algumas ações que envolvem: testes de desempenho, abordagem com clientes e análise de retorno financeiro.

Os testes de desempenho são importantes para comprovar que este novo processo atende aos requisitos especificados pelos clientes e garantir que a qualidade do produto final não será afetada. Para isso, foram realizados alguns ensaios laboratoriais comparando o pré-tratamento atual x pré-tratamento proposto. As figuras 7 e 8 demonstram estes resultados.

**Figura 7 – Ensaios laboratoriais – pré-tratamento à base de fosfato tricatiônico**

Pré-tratamento - Fosfato tricatiônico			
Teste	Requisito	Resultados	Fotos
<p><b>Câmara úmida (Humidity)</b></p> <p>Este teste produz uma atmosfera úmida e quente controlada para simular ambientes com umidade relativa alta.</p>	<p>Duração: 240 horas. Sem bolhas, branqueamento, perda de brilho. Perda de adesão não deve exceder 0.8 mm das linhas cruzadas.</p>	<p>Aprovado. <math>X &lt; 0,5\text{mm}</math></p>	
<p><b>Névoa salina (Salt spray)</b></p> <p>Este teste é uma simulação dos efeitos de uma superfície marítima em uma superfície metálica.</p>	<p>Duração: 1000 horas. Manter 168 horas a 130°C. Não deve enferrujar, ocorrer bolhas. Perda de adesão não deve exceder 1.0 mm das linhas cruzadas.</p>	<p>Aprovado. <math>X \leq 0,5 \text{ mm}</math>. Mantém-se aprovado até 3000 horas.</p>	
<p><b>Corrosão cíclica (Corrosion cycle)</b></p> <p>Este teste submete as amostras a uma repetitiva sequência cronometrada em diferentes atmosferas até que um determinado tempo de exposição ou número de ciclos seja alcançado. Cada ciclo de teste normalmente incorpora diferentes temperaturas, variação de umidade relativa e variação de agentes corrosivos, poluentes e eletrólitos.</p>	<p>Duração: 70 ciclos. Não deve apresentar oxidação e bolhas. Risco na peça não deve ultrapassar 2 mm de espessura.</p>	<p>Aprovado. <math>X \leq 0,5 \text{ mm}</math>.</p>	

**Figura 8 – Ensaios laboratoriais – pré-tratamento nanocerâmico**

Pré-tratamento - Nanocerâmico			
Teste	Requisito	Resultados	Fotos
<p><b>Câmara úmida (Humidity)</b></p> <p>Este teste produz uma atmosfera úmida e quente controlada para simular ambientes com umidade relativa alta.</p>	<p>Duração: 240 horas. Sem bolhas, branqueamento, perda de brilho. Perda de adesão não deve exceder 0.8 mm das linhas cruzadas.</p>	<p>Aprovado. <math>X &lt; 0,5\text{mm}</math></p>	
<p><b>Névoa salina (Salt spray)</b></p> <p>Este teste é uma simulação dos efeitos de uma superfície marítima em uma superfície metálica.</p>	<p>Duração: 1000 horas. Manter 168 horas a 130°C. Não deve enferrujar, ocorrer bolhas. Perda de adesão não deve exceder 1.0 mm das linhas cruzadas.</p>	<p>Aprovado. <math>X \leq 0,9 \text{ mm}</math>.</p> <p>Mantém-se aprovado até 1800 horas.</p>	
<p><b>Corrosão cíclica (Corrosion cycle)</b></p> <p>Este teste submete as amostras a uma repetitiva sequência cronometrada em diferentes atmosferas até que um predeterminado tempo de exposição ou número de ciclos seja alcançado. Cada ciclo de teste normalmente incorpora diferentes temperaturas, variação de umidade relativa e variação de agentes corrosivos, poluentes e eletrólitos.</p>	<p>Duração: 70 ciclos. Não deve apresentar oxidação e bolhas. Risco na peça não deve ultrapassar 2 mm de espessura.</p>	<p>Aprovado. <math>X \leq 0,5 \text{ mm}</math>.</p>	

Analisando os resultados dos ensaios é notável que o pré-tratamento nanocerâmico atende aos requisitos e garante a qualidade do produto final. A principal diferença observada neste comparativo é que o pré-tratamento à base de fosfato tricatiônico ultrapassa o mínimo de 1000 horas requerido no teste de névoa salina alcançando até 3000 horas sem reprova,

enquanto que o pré-tratamento nanocerâmico alcança no máximo 1800 horas sem reprova. Apesar de ambos atenderem ao especificado mínimo requerido pelos clientes, este é um ponto de resistência por parte dos clientes que impede a troca do pré-tratamento.

Em termos financeiros, a implantação do pré-tratamento nanocerâmico reflete em diferentes aspectos do processo: eliminação da necessidade de uso de produtos químicos, eliminação do consumo de gás natural e eliminação da geração de borra de fosfato. A tabela 2 abaixo demonstra quantitativamente os ganhos financeiros.

<b>Item</b>	<b>Consumo anual</b>	<b>Custo</b>	<b>Total</b>
Passivador	3.414 kg	R\$ 6,82/kg	R\$ 23.283,48
Refinador	4.112 kg	R\$ 7,78/kg	R\$ 31.991,36
Acelerador de fosfato	10.624 kg	R\$ 3,71/kg	R\$ 39.415,04
Gás natural	116.480 m <sup>3</sup>	R\$ 1,44/m <sup>3</sup>	R\$ 167.731,20
Borra de fosfato	90.000 kg	R\$ 0,15/kg	R\$ 13.500,00
			<b>R\$ 275.921,08</b>

Sob o ponto de vista ambiental é importante ressaltar que sem o uso do gás natural o processo não mais produz CO<sup>2</sup> como resultado da queima deste combustível, contribuindo assim para a preservação da atmosfera terrestre.

#### **4. Considerações finais**

Novas tecnologias têm sido desenvolvidas exponencialmente nos últimos tempos, sendo uma parte considerável delas destinada ao ramo automotivo. A filosofia de inovação tem sido fortemente solicitada pelo mercado e as empresas que desejam se manter competitivas precisam se adequar e investir neste sentido.

O uso da nano tecnologia vem de encontro com as novas tendências do mercado, havendo grande potencial para se tornar o principal processo de pré-tratamento de pintura nas indústrias. A aplicação desta tecnologia, além de proporcionar ganhos e otimizações dos processos, também demonstra resultados favoráveis dentro do aspecto ambiental, contribuindo para o desenvolvimento da produção sustentável.

Apesar da comprovação de que o pré-tratamento nanocerâmico atende aos requisitos dos clientes e possui viabilidade econômica para implantação, sua utilização ainda não é aceita por alguns deles. O argumento utilizado é justamente o fato de que ele não atinge as 3000 horas de névoa salina que o fosfato tricatiônico garante, mesmo tendo como requisito garantir no mínimo 1000 horas de teste.

O sucesso da troca de tecnologia se resume então a vencer esta barreira junto aos clientes. Para isso é necessário que a empresa busque outras formas de negociação para abordagem com os mesmos. O fato de ser uma multinacional possibilita que o tema assuma uma importância a nível global, podendo assim envolver mais plantas do grupo e ganhar força e poder de convencimento frente aos clientes.

## Referências

BOSSARDI, K. **Nanotecnologia aplicada a tratamentos superficiais para o aço carbono 1020 como alternativa ao fosfato de zinco.** Porto Alegre, 2007.

GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. **Tratamento de superfície e pintura.** Rio de Janeiro: IBS/SBCA, 2003. 94p.

NUNES, L.; LOBO, A. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva.** Rio de Janeiro: Inter ciência: Petrobras, 2007.

MOTA, C.; SOUZA, R. **Tratamento Superficial em Aço Carbono 1020, utilizando Nanotecnologia em substituição a Fosfatização.** São José dos Campos, 2014.

REIS, F.; BARITS, R. **A fosfatização.** 1. ed. São Paulo: Edinter, 2000. v. 1. 120p

REIS, F.; GNECCO, C. **O uso da nanotecnologia para substituição do fosfato de zinco.** In: INTERFINISH LATINOAMERICANA., São Paulo, 2006. XII EBRATS; II INTERFINISH. Anais... São Paulo: ABTS, 2006.