

Processo de Autodeposição na Substituição da Eletrodeposição

Kelly Bossardi Dias*

RESUMO

Com o intuito de realizar o desenvolvimento sustentável, novos processos de tratamentos têm sido desenvolvidos a fim de substituir o processo de pintura por eletrodeposição, reduzir o impacto ambiental e promover o progresso nos tratamentos. A pintura por eletrodeposição trouxe um grande avanço a performance anticorrosiva dos objetos metálicos pintados, além da alta confiabilidade, reprodutividade e estabilidade quando comparado com outros sistemas de pinturas convencionais. A autodeposição pode prover filmes aderentes muito semelhantes aos obtidos pelo processo de eletrodeposição, com a vantagem de não requerer uma fonte de eletricidade de corrente contínua. O objetivo deste estudo é verificar a viabilidade de substituição do processo de eletrodeposição, já consagrado, pelo processo inovador de autodeposição. Neste trabalho foi realizada uma avaliação comparativa qualitativa entre dois processos de tratamento superficial para substratos metálicos, de autodeposição e eletrodeposição de revestimento orgânico. Para este estudo foram comparados as tecnologias de tratamento superficial e o impacto ambiental que cada processo ocasiona. Os resultados obtidos mostraram que o processo de autodeposição de revestimento orgânico pode substituir o de eletrodeposição com ganho ambiental e redução de, aproximadamente, 7 minutos no tempo processo.

Palavras-chave: Revestimento Orgânico. Substrato metálico.

*Doutora em Engenharia Mecânica, Mestre em Engenharia de Minas, Materiais e Metalurgia, Bacharel em Engenharia Química. Pós-Doutoranda da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus de Itapeva. E-mail: kbossardi@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Devido às flutuações do mercado e à necessidade de se manterem competitivas, as empresas buscam constantemente maneiras de otimizar seus processos e dedicam maior atenção à administração da produção. Segundo Slack *et al.* (2009), “a administração da produção trata da maneira como as organizações produzem bens e serviços.”

Desta forma, as empresas buscam desenvolver sistemas mais planejados, organizados e controlados e dão maior importância e atenção específica ao setor de produção buscando inovações que promovam maior eficiência e eficácia

A pintura por eletrodeposição trouxe um grande avanço a performance anticorrosiva dos objetos metálicos pintados, além da alta confiabilidade, reprodutividade e estabilidade quando comparado com outros sistemas de pinturas convencionais. Apesar do sucesso com este material, as pesquisas não pararam e novos desenvolvimentos estão surgindo visando atender as diversas solicitações do mercado tais como redução de custo e tempo de processo, e de efluentes gerados; e produtos com menores taxas de solventes orgânicos voláteis (VOC) (ARPINT, 2008).

A autodeposição pode prover filmes aderentes muito semelhantes aos obtidos pelo processo de eletrodeposição, com a vantagem de não requerer uma fonte de eletricidade de corrente contínua (DERRICK, *et al.* 2012).

Há uma pesquisa limitada que foi publicada em relação ao processo de autodeposição. Balova & Christov (2009) verificaram a redução da qualidade da película de revestimento quando a temperatura do banho aumentou acima de 20 ° C. Derrick *et al.* (2012) estudaram as falhas de desempenho nos revestimentos de autodeposição. Além desses poucos estudos de pesquisa, não houve outros estudos que investigassem as características de processo de autodeposição em comparação com o de eletrodeposição.

Com base nessa informação, foi merecedora de uma investigação comparativa entre os dois processos. Sendo o processo de autodeposição fornecedora dos recursos necessários para cobrir as exigências atuais do processo de eletrodeposição, aponta como uma tecnologia promissora para o tratamento de superfícies metálicas (HONORATO, 2007).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Eletrodeposição de Revestimento Orgânico

Em geral, a eletrodeposição de revestimento orgânico é a tecnologia de revestimento que figura entre as mais utilizadas no mundo. É aplicada em escala mundial em diversos setores da indústria metalúrgica, com destaque para o setor automotivo leve e pesado (carrocerias, chassis e peças), implementos agrícolas (peças componentes de tratores, e equipamentos para agricultura), equipamentos metálicos (como peças para equipamentos de musculação e ginástica, grades e gradis para geladeiras e itens da linha branca) e moveleiro.

A técnica de pintura por eletrodeposição foi desenvolvida como método para atender aos requisitos anticorrosivos exigidos pela indústria automobilística, de autopeças e de eletrodomésticos. Foi utilizada pela primeira vez no início dos anos 60, na Ford-USA, para pintar inicialmente rodas e em seguida carros, pelo processo anódico. No início da década de 70 foi desenvolvido o processo catódico, o qual domina o mercado de pintura por eletrodeposição nos dias de hoje. É conhecida por vários nomes, como por exemplo: "elpo", "e-coat", "electrocoating", "eletropaint", "KTL", "pintura por eletroferese", "ETL", etc. (MONTAGNOLI, 2006).

Pode-se dizer que a pintura por eletrodeposição é similar em seu processo à eletrodeposição metálica. Os dois processos envolvem a passagem de corrente elétrica para que ocorra a deposição de material. A diferença fundamental está no fato de que a eletrodeposição metálica deposita íons metálicos e a pintura por eletrodeposição deposita moléculas orgânicas (NETO, 2005).

Um banho de eletroforese é constituído basicamente por água desmineralizada, pigmento, resina e um pequeno percentual de solventes coalescentes que garante uma boa dispersão dos componentes do banho (MONTAGNOLI, 2006).

O processo de eletrodeposição ocorre quando se mergulha um objeto metálico em um banho de tinta diluída em água, através da qual se faz passar uma corrente elétrica contínua e Dependendo da polaridade da carga, e-coat é classificado como anódico ou catódico (Figura 1).

No e-coat anódico, a peça a ser revestida é o ânodo com uma carga elétrica positiva que atrai partículas de tinta negativamente carregadas no banho. Durante o processo

anódico, quantidades pequenas de íons do metal migram para a película do revestimento que limitam as propriedades de desempenho de sistemas anódicos. O uso principal dos produtos anódicos é para ambientes internos e moderado para externos. Os revestimentos anódicos são sistemas econômicos que oferecem controle excelente da cor e do brilho. No e-coat catódico, a peça tem uma carga negativa, atraindo as partículas de tinta carregadas positivamente. O sistema catódico aplica uma carga elétrica negativa à peça do metal que atrai partículas de pintura carregadas positivamente. Inverter as polaridades usadas no processo anódico reduz significativamente a quantidade de ferro que entra na película curada do revestimento e melhora as propriedades catódicas. Os revestimentos catódicos são revestimentos de alta performance, com excelente resistência a corrosão e que pode também ser formulada para a durabilidade exterior.

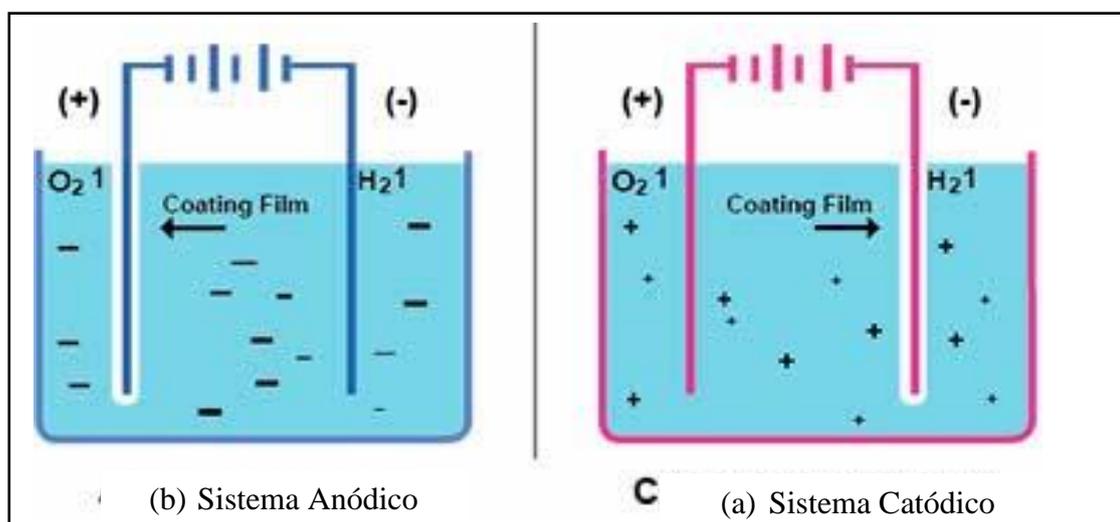


Figura 1. Mecanismos dos processos de eletrodeposição de revestimento orgânico (a) Sistema Anódico e (b) Sistema Catódico.

Durante o processo de aplicação ocorrem quatro fenômenos físico-químicos simultâneos:

Eletrólise: É o fenômeno da reação de oxidação - redução da água com formação de hidrogênio e oxigênio nos eletrodos, em um meio condutivo, sob a influência da aplicação de uma corrente elétrica.

Eletroforese: É o fenômeno de migração de partícula de pigmento, envolvida pela respectiva resina e demais componentes da tinta, em direção a peça a ser pintada, quando eletricamente carregada e submetida a uma diferença de potencial.

Eletrocoagulação (Eletrodeposição): Basicamente, o que ocorre neste fenômeno é a aproximação do macroíon para o pólo contrário a sua carga, onde ocorre a neutralização de carga elétrica, provocando a adesão da partícula ao substrato, formando assim um filme de tinta insolúvel em meio aquoso.

Eletroosmose: É o fenômeno de eliminação da água contida na tinta depositada, ou seja, o material eletrodepositado perde quase toda a água.

Após o processo de eletrodeposição, a peça pintada é lavada para eliminação do *cream-coat* (resíduos de tinta não depositada); para esse processo de lavagem é utilizado um fluido retirado da própria tinta através de um processo de ultrafiltração. Esse fluido recebe o nome de permeato ou UF. Após a lavagem é levada para estufa para o processo de reticulação do filme.

As vantagens e propriedades do revestimento orgânico eletrodepositado (E-coat) são:

- Altíssima proteção anticorrosiva - resistência de mínimo 500 horas em névoa salina (*salt-spray*);
- Performance superior na aderência sobre o metal sem pintura.
- O E-Coat pode ser utilizado como acabamento final para muitos tipos de necessidades, além de seu uso normal como revestimento.
- Permite aplicação sobreposta de pintura a pó (eletrostática), aumentando sua resistência em câmaras de *salt-spray* (podendo até dobrar o desempenho);
- Excelente cobertura e aplicabilidade em cavidades de difícil acesso ou pequenas dobras e saliências;
- Pode ser utilizada em espessura de baixa camada (até 30 microns) mantendo a alta uniformidade do filme (até 4 microns), garantindo alta performance em coberturas para precisão;
- Alta flexibilidade do filme e resistência à exposição a diversos produtos químicos;
- Os processos de imersão garantem o aproveitamento praticamente 98% dos fluídos utilizados (perde-se algum material em função da evaporação normal);
- Pode ser aplicado sobre qualquer substrato metálico (ferro, aço, alumínio, zinco, zamac, etc.).

E as desvantagens são:

- Cobertura não uniforme em bordas e cantos vivos, conforme mostra a figura 2;

- Investimento inicial elevado;
- Processo complexo tanto no controle quanto na operação;
- Custo de manutenção e funcionamento altos; o processo exige um equipamento elétrico caro e consumo de energia.



Figura 2. Revestimento orgânico eletrodepositado sobre chapa de aço carbono – borda com falhas de cobertura.

2.2 Autodeposição de Revestimento Orgânico

O processo de autodeposição de revestimento orgânico ou a Autoforese está em uso comercial desde 1973 e, desde então, tem estado em contínuo desenvolvimento. Em 1980 novos polímeros de látex permitiram grandes melhorias no aspecto, desempenho e facilidade de uso, o que aumentou muito as aplicações do processo. A crescente necessidade de produtos que não agredam o meio ambiente fez com que a autodeposição fosse muito atrativa, sobretudo pela ausência de solventes orgânicos.

A autodeposição é definida como sendo uma deposição controlada, de partículas neutras ou negativas, na peça a ser revestida, por uma reação química com íons positivos originários da superfície metálica ferrosa. Esse efeito é chamado autoforese, autodeposição, A-coat ou AP, é um processo à base de água que depende de reações químicas entre um componente ferroso a ser revestido e a solução de revestimento. O

ferro reage com um polímero de emulsão de látex ligeiramente ácido, bem como com outros ingredientes não revelados. Estes ingredientes variam de acordo com a fabricação, uso e propriedades desejadas. A acidez leve libera uma pequena quantidade de íons do material ferroso. Estes íons interagem com o látex, fazendo com que uma fina camada de deposição se forme. Os ativadores químicos se difundem rapidamente em um filme e gravam a superfície simultaneamente. Ao contrário de um revestimento eletrostático, não há carga elétrica externa e o pigmento está em solução. Este processo só é possível com materiais ferrosos. Uma vez que o revestimento é aplicado, é curado a quente para solidificar o revestimento sobre o substrato de base (DERRICK *et al.*, 2012).

O banho de autoforese consiste de uma emulsão de um polímero disperso em água, com um ácido e uma agente oxidante. O processo de autodeposição sofre uma limpeza em quatro etapas. Primeiro, um spray de um minuto de limpeza alcalina é empregado para remover detritos e restantes óleos que impedem a adesão. Este spray também neutraliza qualquer acidez que possa permanecer em o aço de operações anteriores. Em seguida, o componente é imerso em um banho alcalino por dois minutos, o banho serve o mesmo propósito que o spray e é projetado para que exponha igualmente todas as superfícies simultaneamente. O componente é enxaguado em água da torneira da fábrica para remover o excesso de alcalino seguido de uma lavagem desionizada final para limpar e desionar a superfície do componente antes do revestimento.

Na figura 3 é possível observar o mecanismo do processo de eletrodeposição. Inicialmente, Fe^{2+} desestabiliza anionicamente o polímero próximo à superfície do metal ferroso depositando um filme uniforme. O polímero autodepositado forma uma camada sobre a superfície do metal ferroso sendo aderido pelos íons Fe^{2+} . A difusão do íon Fe^{2+} torna-se mais lenta com a formação de camada auto limitante e boa uniformidade.

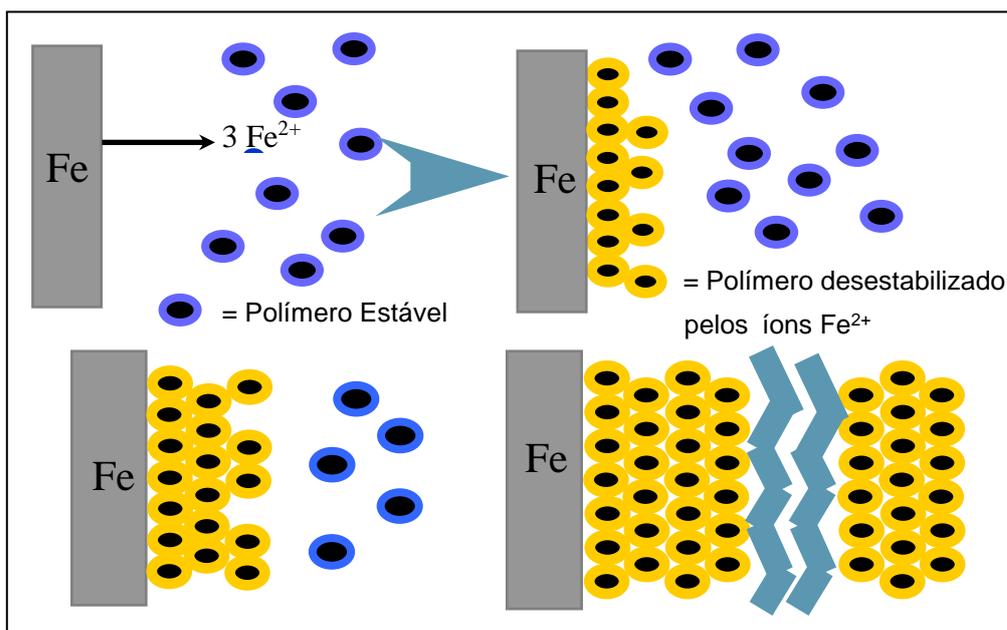


Figura 3. Mecanismo do processo de autodeposição de revestimento orgânico.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Autodeposição X Eletrodeposição

O revestimento orgânico de autodeposição é uma inovação tecnológica industrial que simultaneamente trata e reveste as superfícies de metal. O metal é mergulhado no banho do revestimento por certos minutos, lavado na água desmineralizada e secado, semelhante ao revestimento eletrodepositado catódico moderno ou o depósito eletrolítico catódico da pintura uma dispersão coloidal (PFEIFFER, 1991).

A crescente necessidade de produtos que não agredam o meio ambiente, diminuindo a quantidade de efluente gerado, redução no tempo de processo fez com que a autodeposição fosse muito atrativa, visando substituir o processo de eletrodeposição.

Há muitas similaridades entre estas duas tecnologias. Em ambos os sistemas a espessura de revestimento é uma função do tempo, e o processo é aplicado à superfície de metal. A espessura do depósito gerado é altamente uniforme. Após a secagem, a película formada é estável com propriedades elevadas da proteção de corrosão. Pode ser aplicado top-coat, obtendo boa aderência ao revestimento (PFEIFFER, 1991).

O quadro 1 apresenta as etapas de cada processo e é possível fazer uma comparação entre a autodeposição e o e-coat. O processo de autodeposição apresenta muitas

vantagens que favorecem a aplicação desta inovação tecnológica. Estas vantagens estão descritas a seguir:

1. Redução de espaço físico, devido à redução do número de etapas de processo;
2. Redução do custo de manutenção e funcionamento. Processo de eletrodeposição exige um equipamento elétrico caro e consumo de energia, já o processo de autodeposição usa exclusivamente a ação química para depositar a película protetora.
3. Fácil controle e de fácil operação. O processo de eletrodeposição é complexo tanto no controle quanto na operação.
4. Permite revestimentos de conjuntos e de sistemas montados (Exemplo: borrachas, plásticos, etc) sem perda de movimento em articulações e partes móveis. Devido à ausência de corrente elétrica, os componentes presentes nos sistemas montados não são danificados.
5. Não são necessárias algumas etapas do pré-tratamento, reduzindo a quantidade de efluentes e efluentes gerados e o tempo de processo. As etapas 4, 5 e 6 são descartadas semanalmente, gerando elevado volume de efluentes para tratamento. Para uma linha com tanques de 10 m³, são enviados para Estação de Tratamento de Efluentes 30 m³ por semana; no processo de Autodeposição não existem estas etapas, não gerando efluentes líquidos;
6. Além das etapas mencionadas, não requer camada de conversão, a 7ª etapa de fosfatização. No quadro 1 é possível observar as etapas necessárias para ambos os processos. O resíduo denominado “borra de fosfato” é gerado por diversos tipos de indústrias cujo processo produtivo apresenta pintura em superfícies metálicas, especificamente na etapa de fosfatização (etapa 7). Esse resíduo é caracterizado como classe II pela norma ABNT NBR 10004 (GIFFONI, 2005). Esses resíduos, produzidos pelos processos industriais, têm se tornado um dos principais passivos ambientais da sociedade contemporânea. Uma das alternativas de destinação desses resíduos é a sua disposição em aterros industriais, porém essa é uma medida de custo elevado e que não traz garantias totais de segurança ao meio ambiente. Ou ainda são tratados através de processos como o de resina de troca iônica, o que gera mais custos para a empresa (ALTAFIN, 2004).

Processo	Eletrodeposição	Autodeposição
1^a	Desengraxe alcalino	Desengraxe alcalino
2^a	Enxágue (água potável)	Enxágue (água potável)
3^a	Decapante ácido	Decapante ácido
4^a	Enxágue (água potável)	-----
5^a	Enxágue (água potável)	-----
6^a	Refinador	-----
7^a	Fosfatização	-----
8^a	Enxágue (água potável)	Enxágue (água potável)
9^a	Enxágue (água DI)	Enxágue (água DI)
10^a	Eletrodeposição	Autodeposição
11^a	Enxágue (água DI)	Enxágue (água DI)
12^a	-----	Enxágue Reativo
13^a	Secagem	Secagem
Tempo Processo	56 min.	49 min.

Quadro 1 – Etapas dos processos de eletrodeposição e autodeposição.

7. Elimina limitações de produção para peças de diferentes tamanhos, geometrias e complexidade. Não é necessário limitar a área a ser processada, como é o caso do processo de eletrodeposição – a área deve ser limitada para manter a relação de área anódica /catódica.

O processo de autodeposição apresenta duas desvantagens:

1. Pode ser aplicado somente sobre substrato metálico ferroso. Já a eletrodeposição pode ser aplicada em qualquer substrato metálico, ferroso e não ferroso.
2. A coloração do revestimento orgânico obtido no processo de autodeposição é preta. Na eletrodeposição pode-se obter revestimento na cor preta ou cinza.

Portanto, comparado ao processo de eletrodeposição, a autodeposição promove significativa redução de mão de obra, menor ciclo de processo, menor investimento inicial utilizando menor espaço físico.

E, também proporciona uma aplicação uniforme na superfície do substrato metálico, incluindo partes internas como peças tubulares, bordas e geometrias complexas, conforme pode ser observado na figura 4. O resultado final é um revestimento funcional resistente a ambientes agressivos, obtido com uma tecnologia que não agride o meio ambiente.



Figura 4. Cobertura mais uniforme garante melhor proteção das bordas.

As vantagens sustentáveis da utilização desta tecnologia tornam os processos produtivos das indústrias mais ecologicamente corretos. Este importante benefício, aliado à ausência de corrente elétrica para a aplicação do revestimento e menor tempo de processo, resulta em menor consumo de energia, acarretando o controle automático e a redução das etapas do processo produtivo, gerando diminuição de consumo de água.

A nova tecnologia aumenta a produtividade das operações de manufatura e pode ser utilizada em vários setores na indústria, automotivo, estruturas metálicas, chassis, nos interiores dos veículos, polias, componentes de suspensão, refrigeradores, fogões, lavadoras, motores elétricos, compressores, móveis de aço, máquinas agrícolas e construção civil, entre outros.

4. CONCLUSÃO

Limitado pelas desvantagens apresentadas, o processo de autodeposição torna-se uma ótima oportunidade e alternativa que abrange qualidade, desempenho, reduz tempo de processo, investimento inicial, custo total de produção e complexidade de processo. Com a crescente necessidade pela busca de alternativas de processos que reduzam o impacto ambiental e não percam qualidade, esta inovação tecnológica é muito promissora na substituição ao processo de eletrodeposição de revestimentos orgânicos.

Comparado aos processos convencionais de revestimento orgânico, a autodeposição promove significativa redução de mão de obra, menor ciclo de processo, menor investimento inicial utilizando menor espaço físico.

Além disso, opera em temperatura ambiente, tempo de tratamento reduzido, não requer estágio de refinador, não requer estágio de passivação, não requer estágio de

fosfatização, o tratamento é simplificado, custo de capital mais baixo para construção de uma nova linha, e redução significativa de produção e manutenção.

REFERÊNCIAS

ALTAFIN, V. L. et al. Utilização de lodo de fosfatização na produção de mudas de espécies nativas. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, p. 45 - 50, 2004.

ARPINT. Informações gerais sobre o sistema de aplicação por eletrodeposição. **.Net**. Disponível em: < <http://www.arpint.com.br/ktl2.htm>>. Acesso em: 03 out. 2017.

BALOVA, S., CHISTOV, M. Influence of temperature on autophoretic polymer deposition. **Corrosion Science**, Vol. 41, pp. 1633-1638, 2009.

DERRICK, S. M., JOHNSON, M. A., NOLA, G. P., MEADE, D. PhD, JOYCE, M. PhD. An Evaluation in to the Cause of Corrosive Failure in Autophoretic Coated Material. **Green Manufacturing Research Journal Paper**. 2012.

GIFFONI, P. de O., LANGE, L. C. Utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 10, n. 2, p.128 – 136, 2005.

HONORATO, Igor. Processo de revestimento químico-autoforético: descrição do processo de autodeposição. **Tratamento de Superfície**. n. 141, p. 38-44, 2007.

MONTAGNOLI, Valdir. Filtração em linhas de pintura por eletrodeposição. **Tratamento de Superfície**. n. 137, p. 46-60, 2006.

NETO, Nilo M. Recapitulando conceitos sobre eletroforese. **Tratamento de Superfície**. n. 134, p. 6-8, 2005.

PFEFFER, B.; SCHULTZE, J. W. Electrochemical investigations of the autophoretic coatings process. **Journal of Applied Electrochemistry**. n. 21, p. 877-884, 1991.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.