

A IMPORTÂNCIA DA CONSCIENTIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO USO DA GALVANOPLASTIA NA ENGENHARIA

Luiz Cláudio Cândido – e-mail: candido@em.ufop.br

Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola de Minas - UFOP

Campus Universitário – Morro do Cruzeiro

35400-000 - Ouro Preto - MG

Resumo. *Dentro das diferentes técnicas de tratamento superficial dos materiais, a indústria de galvanoplastia promove a geração de resíduos extremamente impactantes para o meio ambiente, pois nela são empregadas substâncias consideradas perigosas, tais como ácidos: sulfúrico, nítrico e clorídrico; produtos cáusticos; solventes orgânicos; compostos contendo cianetos (altamente venenosos); sais de vários metais, incluindo metais pesados como cromo, chumbo, estanho, níquel, etc. Portanto, este trabalho visa conscientizar, através do ensino na Engenharia, os efeitos maléficos dos efluentes e resíduos provenientes do emprego da galvanoplastia, técnica esta muito utilizada no setor produtivo de proteção de superfícies metálicas. A questão ambiental tornou-se algo bastante complexo e determinante para que empresas adotem soluções caseiras. Pelas previsões, até o final do ano 2000, em torno de 500 empresas brasileiras receberão o certificado ISO 14001 - norma ambiental que trata da gestão ambiental -. As empresas brasileiras começaram a entender que os riscos ambientais são riscos empresariais.*

Palavras-chave: Galvanoplastia; Impactos ambientais; Conscientização; Engenharia

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental tornou-se algo bastante complexo e determinante para que as empresas se encarreguem de adotarem sozinhas soluções caseiras, particularmente nas indústrias relacionadas com a produção de materiais e peças metálicas, onde o setor de tratamento e proteção de superfícies metálicas é um dos que produz impactos ambientais de grande importância (SOUZA & VILLEGAS, 1996).

Segundo o INMETRO, 160 empresas já receberam o certificado ISO 14001 (CIMA, 2000) – a norma ambiental que trata da gestão ambiental – no Brasil e até o fim deste ano esse número deverá chegar a 500. Um dos motivos para esta tendência é que o comércio internacional já não tolera empresas ambientalmente irresponsáveis e há rigidez crescente neste setor. O impacto negativo de agressões à natureza dificilmente é esquecido e a imagem perante fornecedores tem sido decisiva, especialmente quando o assunto se trata de auditorias em fusões e aquisições. Nessas negociações tem sido fundamental avaliar os compromissos

financeiros das empresas relacionados ao meio ambiente, o chamado passivo ambiental (pagamento de multas, correção de danos à natureza ou custos de descontaminação entre outros). Portanto, as empresas brasileiras começaram a entender que os riscos ambientais são riscos empresariais. Riscos que podem causar impacto nos resultados, na imagem e na remuneração dos acionistas (EXAME, 2000).

A indústria de galvanoplastia é uma atividade produtiva geradora de resíduos altamente impactantes para o meio ambiente. São empregadas, entre outras substâncias consideradas perigosas, ácidos como o sulfúrico, nítrico e clorídrico, produtos cáusticos como hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, carbonato de sódio; solventes orgânicos como o tetracloreto de carbono e o tricloroetileno; compostos cianurados como cianeto de sódio, cianeto de potássio; nitritos; sais de vários metais, incluindo metais pesados como chumbo, cromo, estanho, níquel, etc. As substâncias citadas anteriormente, são somente uma porção da grande quantidade de substâncias ambientalmente nocivas (venenosas) empregadas nesta atividade industrial, geradora de efluentes na forma líquida, semi-sólida e também resíduos sólidos. Estes efluentes gerados contendo os componentes acima, requerem um gerenciamento adequado para que os mesmos não se convertam em perigo para a saúde pública e a estabilidade dos ecossistemas. Sabe-se que os efluentes são uma comprovação da ineficiências são uma comprovação da ineficiência no manuseio dos materiais e no controle dos processos empregados, pois além de se tratar de materiais tóxicos e perigosos estes são, em muitos casos, caros. Isto deveria representar um incentivo para a implementação e melhoria dos métodos de gerenciamento e manejo dos mesmos (SOUZA & VILLEGAS, 1996).

Todos os fenômenos biológicos são interrompidos, quanto o pH do meio está distante do valor neutro 7. A faixa de pH admissível está entre 6,5 e 8,5. É conveniente, portanto, que todas as soluções que vão ser descartadas tenham este valor de pH. A Tabela 1 apresenta valores de concentrações venenosas em águas residuais, na Alemanha, segundo dados de 1973 (GALVANOTÉCNICA, 1973):

Tabela 1 - Normas usuais para os processos de tratamento de águas

Substâncias sedimentares	0,3 mg/l
Valor de pH	6,5 - 9,0 mg/l
Metais, dissolvidos e não-dissolvidos	
• Cr em geral	2 mg/l
• Cu	1 mg/l
• Ni	3 mg/l
• Zn	3 mg/l
• Cd	3 mg/l
• Fe	2 mg/l
Cianetos livre	0,1 mg/l
Cloro livre	0,5 mg/l
Substâncias extraíveis do éter de petróleo	10 mg/l

2. TÉCNICAS DA INDÚSTRIA DE GALVANOPLASTIA

Através da galvanoplastia é possível revestir materiais, através de coberturas de diferentes metais entre os quais destacam-se o zinco, cobre, níquel, cromo, cádmio e estanho. Os principais processos de zincagem são apresentados, sucintamente, a seguir.

A indústria de galvanoplastia realiza a zincagem ácida e a alcalina. Pelo fato de trabalhar com produtos corrosivos, a zincagem ácida possui a desvantagem do ponto de vista de operação e corrosão de equipamentos. No entanto, este tipo de zincagem apresenta a vantagem sobre a alcalina, do ponto de vista ambiental, por não aplicar compostos à base de cianeto.

A niquelagem é utilizada como recobrimento principal e também como etapa intermediária para outros processos. Dentre os processos utilizados em escala industrial, este é o que utiliza as matérias primas mais valiosas. Por este motivo, ações de minimização de emissões são de fundamental importância para estas indústrias.

O processo de cobreagem ou cobreamento é também empregado como etapa intermediária em uma grande variedade de outros processos eletrolíticos. A cobreagem também pode ser encontrada em duas variações: a alcalina que é a mais utilizada por razões operacionais, mas com a restrição ambiental de se utilizar compostos à base de cianeto e o processo ácido que não é tão utilizado, mas está em contínua expansão, principalmente, por razões ambientais.

A cromagem tem sido o processo que mais tem sofrido mudanças tecnológicas nos últimos anos. O cromo segue sendo, dentro do setor de galvanoplastia, motivo de preocupação, já que se trata do metal pesado de uso mais intenso e com alto impacto ambiental. Além do processo de cromagem, deve-se lembrar que a maioria dos processos de passivação utilizam produtos à base de cromo hexavalente, o que aumenta consideravelmente a importância deste metal no contexto total deste tipo de indústria (SOUZA & VILLEGAS, 1996).

3. EFLUENTES GERADOS E GERENCIAMENTO AMBIENTAL NA GALVANOPLASTIA

Os efluentes líquidos são os resíduos mais nocivos nas atividades de galvanoplastia, seguidos pelos resíduos sólidos e semi-sólidos, gerados nos processos produtivos ou como resultado de operações e processos de tratamento dos efluentes líquidos. Portanto, deve-se estabelecer uma estratégia de gerenciamento dos resíduos deste tipo de atividade, que deverá considerar aspectos de otimização de processo, reciclagem, reutilização, minimização de consumo de materiais e água, etc. Sendo assim, é fundamental que no gerenciamento das substâncias poluentes geradas em indústrias de galvanoplastia estabelecer um conjunto de procedimentos e ações que levam à diminuição ou eliminação dos efeitos adversos destes contaminantes sobre o meio ambiente. Dentro do gerenciamento, pode-se identificar as seguintes ações: identificação dos resíduos; identificação do processo gerador; prevenção e redução na fonte; reciclagem e reuso; tratamento e disposição segura dos efluentes (SOUZA & VILLEGAS, 1996).

Dentre as técnicas que estão sendo utilizadas para o tratamento de efluentes líquidos gerados nos processos de galvanoplastia, no tratamento de águas residuais destacam-se, basicamente, dois grupos de processos. Nos processos “clássicos”, faz-se a eliminação através da distribuição das substâncias residuais ou da sedimentação em forma de combinações. Desde que os resíduos não sejam oxidados a gases (cianeto para CO₂ ou N₂), encontram-se dissolvidos (cianeto, nitrato), ou em combinações sedimentares (hidróxidos de metais pesados, sulfato de cálcio, fluoreto de cálcio e fosfato de cálcio) na água. Nos modernos processos de trocadores de íons, são retiradas todas as substâncias venenosas da água, sem que haja qualquer tratamento químico. As substâncias estranhas que se encontram na água não são modificadas pelos trocadores de íons, mas são absorvidas sem modificação alguma e, dessa maneira, eliminadas da água. Esta água (pureza quase ideal) retorna à fábrica. No entanto, neste processo, as impurezas são retiradas da água, mas não eliminadas, nem tratadas.

Elas ficam acumuladas na resina do trocador de íons. Estes polímeros são substâncias orgânicas de grande peso molecular que estão ligadas a uma cadeia insolúvel, a qual funciona como anion ou cation, e que podem ser trocados facilmente por outros íons, geralmente íons de hidrogênio ou hidroxila (GALVANOTÉCNICA, 1973).

Em função da complexidade das diferentes correntes de efluentes originados em indústrias de galvanoplastia, geralmente, são realizados tratamentos diferenciados e, em alguns casos, os efluentes devem ser tratados separadamente. Com isto, evita-se a possibilidade de que efluentes incompatíveis possam produzir reações com produtos indesejáveis e perigosos, por exemplo, gases tóxicos ao pessoal de operação, ou os efluentes podem combinar-se e formar complexos que se tornam difíceis de serem tratados, como por exemplo a formação do cianeto de níquel. Deve-se, portanto, caracterizar cuidadosamente os efluentes antes de se selecionar um método de tratamento. Segundo SOUZA & VILLEGAS (1996) o tratamento convencional de efluentes da indústria de tratamento de superfícies consiste em cinco etapas principais: separação de óleos e graxas; oxidação do cianeto; redução do cromo hexavalente; precipitação de metais; separação do lodo galvânico. Neste mesmo artigo, os autores apresentam as etapas de redução do cromo, oxidação do cianeto, neutralização e precipitação, clarificação e desidratação de sólidos.

Deve-se destacar que os cianetos pertencem às substâncias venenosas mais perigosas, que precisam ser eliminadas ao máximo. Apesar de várias possibilidades existentes para sua eliminação, basicamente dois processos se impuseram: a sedimentação na forma de complexos insolúveis de cianeto de ferro e a destruição por oxidação. Normalmente, faz-se a sedimentação das combinações cianídricas (também complexas), em forma de cianetos de ferro complexos, onde só é possível em soluções que não contenham diluição grande demais e que não permitem, neste caso, a eliminação total dos cianetos. Nas águas de lavagem, onde a diluição é muito grande, as reações são muito demoradas e incompletas, de modo que o referido processo várias vezes é proibido. Para soluções concentradas e semiconcentradas, impõe-se, com auxílio de sais de ferro, a eliminação da quantidade principal de cianeto, pois, nestes casos, a oxidação pode oferecer dificuldades.

Os sais de ferro são encontrados em grandes quantidades no processo de decapagem. Na combinação de cianetos e compostos de ferro formam-se, inicialmente, cianoferratos solúveis, os quais formam, com o excesso de ferro, cianoferrato de ferro insolúvel, que precipita em forma de lodo. A água residual, que se forma após a sedimentação dos cianoferratos e a deposição do lodo, contém excesso de ferro ou cianeto e não pode ser descartada.

O processo mais adequado para os esgotos diluídos, o qual dá também a melhor garantia para a total purificação, é a oxidação, que é realizada quase que exclusivamente com cloro ou hipoclorito (alvejante, cal clorado). A hipótese essencial para o sucesso da oxidação é a presença de um meio de alcalinidade suficiente. O pH não pode ser inferior a 9, de preferência entre 10 e 11 ou mais, pois a cinética da reação será muito favorecida, pois em soluções ácidas ou neutras esta reação será muito lenta. Deve-se tomar cuidado, pois nesta reação forma-se um composto de cloro e cianeto, ClCN, um gás muito venenoso e insolúvel em água, que provoca lágrimas quando em contato com o olho humano. O clorocianeto reage com a água, formando um cianato não-venenoso, NaCNO (GALVANOTÉCNICA, 1973).

Para o caso da recuperação de ácido crômico, normalmente, faz-se através da redução a combinações de cromo (III), onde o cromo é precipitado com os restantes dos íons pesados na forma de hidróxido. Sendo assim, para os metais pesados a precipitação na forma de hidróxidos insolúveis ou sulfetos é conseguida pela adição de reagentes simples, seguida de ajuste de pH e sedimentação. Segundo SOUZA & VILLEGAS (1996), no caso da presença de cromo hexavalente é necessário, primeiramente, realizar a redução deste íon para cromo trivalente, que forma mais prontamente compostos insolúveis. Para a redução do cromo hexavalente, normalmente, utiliza-se compostos sulfurosos como o metabissulfito de sódio

($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Ressalta-se que o cromo hexavalente provem de processos como cromatização, passivação, polimento, metalização de plásticos, etc.

Deve-se salientar que encontram-se nos esgotos também impurezas líquidas, não-solúveis em água, tais como graxas, óleos, solventes, etc. Estas substâncias também não podem ser descartadas na rede de esgoto, sendo que, além disso, perturbariam as reações de purificação locais. São, portanto, separadas através de sedimentadores.

Finalmente, salienta-se que atualmente é empregada a técnica de tratamento integrado para o reuso de água nos tratamentos de metais. Esta técnica consiste em uma lavagem química que opera em condições controladas, neutralizando arrastes ácidos e alcalinos, oxidando cianetos, reduzindo cromo e precipitando os metais pesados. Este sistema de lavagem química opera em circuito fechado com reaproveitamento de 100% da vazão de água contida no sistema. Periodicamente, uma purga é realizada para a manutenção das condições operacionais ideais. Para um sistema convencional, as águas de lavagens são encaminhadas para os tratamentos convencionais de: alcalinização/oxidação de cianetos ou acidificação/redução de cromatos, neutralização, floculação (opcional) e sedimentação. Devido à mistura de todos estes contaminantes, os teores de sais dissolvidos atingem valores elevados e nocivos aos diversos acabamentos, o que impede um reuso destas águas de lavagens, nos moldes dos reusos obtidos com os tratamentos integrados. Com a implantação destes novos tratamentos, as operações de lavagens imediatamente subsequentes a estes processos estão isentas de contaminações por metais pesados, íons tóxicos, ácidos ou alcalis, o que possibilita o reuso destas águas na razão de 80%. Segundo HUGENNEYER JUNIOR (1998) os tratamentos integrados apresentam várias vantagens em relação ao sistema convencional, onde destacam-se: possibilidade de reuso de 80% do total de águas de lavagens em instalações de tratamentos superficiais de metais; reduzem o consumo de reagentes, por manterem as águas em circuitos fechados; produzem lamas contaminadas com metais específicos, facilitando as classificações do resíduo sólido, uma eventual recuperação e/ou comercialização deste resíduo; a operação e controle é automática e simples; por ser de processos em circuito fechado, representam uma maior garantia contra o lançamento de despejos fora dos limites legais; referem-se a equipamentos totalmente nacionalizados, extremamente acessíveis; a qualidade dos despejos tratados nos diversos tratamentos integrados é superior à obtida com processos convencionais de tratamento (Tabela 2).

Tabela 2 - Comparação do sistema convencional de tratamento com o integrado

Contaminantes	Tratamento contínuo convencional (mg/l)	Tratamento integrado (mg/l)
Cianetos	0,5	0,02
Cobre	1,5 a 2,0	0,15
Cromo	0,1	0,01
Chumbo	0,5	0,01
Fluoretos	18 a 20	1
Níquel	3 a 4	0,5
Zinco	3 a 4	0,5

4. A IMPORTÂNCIA DA CONSCIENTIZAÇÃO DOS ALUNOS EM RELAÇÃO AOS PROBLEMAS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA GALVANOPLASTIA

Como o curso de Engenharia Metalúrgica, do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, da Escola de Minas/Universidade Federal de Ouro Preto oferece disciplinas na graduação e na pós-graduação sobre “Corrosão e Proteção de Metais”, e considerando que as

técnicas desenvolvidas nos processos de galvanoplastia geram efeitos maléficos ao ambiente, através de efluentes e resíduos, onde utiliza-se intensamente no setor produtivo de proteção de superfícies metálicas, procura-se transmitir aos alunos, inclusive de outras engenharias, a importância do conhecimento dos processos, o grande impacto ambiental que pode ocorrer através de produtos gerados e, fundamentalmente, a conscientização para que os problemas sejam minimizados ou até mesmo eliminados.

Procura-se, também, informar aos alunos quanto as normas da série ISO 14000, que estão orientadas para dois grandes grupos: um para a padronização da organização e o outro para a padronização do produto. Para a organização fica disponível um guia compreensível para estabelecer, manter e avaliar o seu Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Com relação ao produto, a outra preocupação da série ISO 14000 é com relação aos impactos causados durante o ciclo de vida dos mesmos, ou seja, os danos causados desde a extração da matéria-prima até a sua disposição final, além da rotulagem e das declarações ambientais. De acordo com a GAZETA MERCANTIL (1996), a ISO série 14000 é um grupo de normas que fornece ferramentas e estabelece um padrão de SGA, onde as normas abrangem 6 áreas bem definidas: SGA; Auditorias Ambientais; Avaliação de Desempenho Ambiental; Rotulagem Ambiental; Aspectos Ambientais nas Normas de Produtos e Análise de Ciclo de Vida do Produto. É esclarecido também que para implementar um SGA em uma empresa, tem-se duas normas: a ISO 14001 e a ISO 14004. Para se certificar, deve-se utilizar a 14001 que é específica para o SGA, única norma passível de certificação independente. Para implementação, a norma ISO 14004 de SGA (diretrizes gerais) funciona como “guia”.

Ressalta-se que estas padronizações ajudam a organização acumular informações para suportar os seu planejamento e as suas decisões, além de poder comunicar aos clientes e as outras partes interessadas as informações ambientais sobre o produto. Segundo ARAÚJO (2000), a adoção de algum sistema de gestão é fator de sobrevivência das instalações de eletrodeposição desde que o principal objetivo seja garantir a competitividade e efetivamente produzir com melhor qualidade gerando a plena satisfação dos clientes, integrando a empresa com a comunidade, buscando novas identidades para os empreendimentos e determinando suas novas responsabilidades sociais e ecológicas. Focar e localizar a galvanoplastia na nova era da tecnologia digital onde a informação constitui-se como matéria prima e força motriz para todos os empreendimentos que sobreviverão a era do caos será o nosso maior desafio na busca de um modelo de gestão para a mesma no terceiro milênio com melhor empregabilidade, valorizando o ser humano.

Procura-se, também, conscientizar os alunos sobre as maneiras de obtenção de produção limpa, segura e com respeito ao meio ambiente. São dadas sugestões práticas para isto, onde, segundo GANI Jr. (1998), é necessário: pesquisar novos processos químicos e industriais, que garantam uma maior proteção ao produto e facilidade no tratamento de efluentes; novos processos que não utilizam cianetos, cromo hexavalente, chumbo, cádmio, passivadores de descarte diário, etc.; processos que simplificam a operação e a complexidade dos equipamentos de estação de tratamento de efluentes, diminuindo a quantidade de borra final a ser descartada, que é sem dúvida um dos maiores problemas do setor; medidas simples, como, por exemplo, introdução de redutores de vazão devidamente calibrados para os diversos pontos de consumo ou através de lavagens em contra-fluxo duplas e até triplas, e da reutilização total ou parcial das águas de lavagem; analisar caso a caso, e implantar novas sistemáticas, desde a mudança do conceito de trabalho, das matérias-primas utilizadas, dos equipamentos, dos parâmetros de controle, etc.; nas empresas, os Departamentos de *Marketing*, Propaganda, Finanças e outros, devem se progressivamente envolvidos nos aspectos ecológicos; existem atualmente no mercado equipamentos de natureza diversa que se destinam ao setor, tais como resinas de troca iônica, ultrafiltração, evaporadores atmosféricos, evaporadores à vácuo, células de diálise, extração por solventes, e outros métodos cujo

objetivo é não desperdiçar matérias-primas e diminuir ou até acabar com a necessidade da neutralização, da classificação e descarte do lodo, conforme seu grau de periculosidade; além de outras medidas.

5. CONCLUSÕES

Através de conceitos básicos sobre as consequências altamente impactantes ao meio ambiente, oriundas dos efluentes gerados a partir das técnicas de galvanoplastia, objetivando recobrimentos de superfícies metálicas, é fundamental promover a conscientização de engenheiros e pessoas envolvidas no assunto. É primordial a mudança de paradigma para os sistemas de gestão ambiental atualmente existentes, onde deve-se adotar metodologias que integrem a empresa com comunidade, determinando-se responsabilidades sociais e ecológicas, com objetivo de melhor aproveitar o eficiente sistema de revestimento de superfícies dos materiais, preservando a natureza e por conseguinte a qualidade de vida humana.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, P. Qualidade: a busca de um modelo de gestão para a galvanotécnica no terceiro milênio. In: “Centro de Informação Metal Mecânico – CIMM – Meio Ambiente”, 2000,; www.cimm.com.br

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICO – CIMM – Meio Ambiente, 2000,; www.cimm.com.br

GALVANOTÉCNICA, Prática. São Paulo, EDUSP: Polígono, 1973, 2v. (organizado pela equipe da revista Galvanotechnik).

GAZETA MERCANTIL. Encarte Gestão Ambiental - Compromisso da Empresa, Fascículo 5 Abril, 1996.

HUGENNEYER JUNIOR, C. O reuso de água nos tratamentos de metais. Tratamento de Superfície, nº 90, Julho/Agosto 1998, pp. 48-49

REVISTA EXAME, Ed. 710, Março/2000.

SOUZA, F.A., VILLEGAS, E.A. Gerenciamento ambiental na indústria de tratamento e proteção de superfícies metálicas. In: IV Encontro de Metalurgia, Mineração e Materiais da UFMG, outubro de 1996.

THE IMPORTANCE OF THE UNDERSTANDING OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE USE OF GALVANOPLASTIC IN THE ENGINEERING

Abstract. *Inside of the different techniques of superficial treatment of the materials, the galvanoplastic industry promotes the generation of residues extremely pernicious for the environment, because in her dangerous considered substances are used, such as acids: sulfuric, nitric and hydrochloric; caustic products; organic solvents; composed contends cyanide (highly venomous); salts of several metals, including metals weighed as chromium, lead, tin, nickel, etc. Therefore, this work seeks to become aware, through the teaching in the Engineering, the effects harmful of the effluents and coming residues of the employment of the galvanoplastic, technique this very used in the productive section of protection of metallic surfaces. The environmental subject became something plenty complex and decisive so that companies adopt homemade solutions. For the forecasts, until the end of the year 2000, around 500 Brazilian companies will receive the certificate ISO 14001 - environmental norm that is about the environmental administration -. The Brazilian companies began to understand that the environmental risks are managerial risks.*

Word-key: *Galvanoplastic; Environmental impacts; Understanding; Engineering*