

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS INDUSTRIAIS¹

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF AN INDUSTRIAL WASTE WATER IMPROVEMENT SYSTEM

Lauro Cezar Santos Alves², Magna Tainar Walczak Reimann², Elson Ricardo Espig dos Santos³, Sergio Roberto Mortari⁴ e Cristiano Rodrigo Bohn Rhoden⁵

RESUMO

A água é a substância mais vital presente na natureza e constitui parte importante de todas as matérias do ambiente natural e antrópico. Em indústrias metal mecânica, muitos processos são empregados a uma superfície com a finalidade de melhorar o acabamento, emprego de valor agregado, proteção, remoção de defeitos, entre outros. Em uma indústria metal mecânica da cidade de Santa Maria - RS o processo utilizado para remover esses defeitos é a decapagem química, que é a remoção superficial do metal com finalidade de retirar as camadas do metal cuja coloração foi modificada pelo calor da solda onde ocorreu a redução do cromo. Neste trabalho, descreve-se o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia rápida e de baixo custo para a reutilização de águas residuais em uma indústria metal mecânica com uma eficácia superior a 85 % para a remoção de óleos e resíduos de metais pesados.

Palavras-chave: remoção de metais pesados, óleos, decapagem química.

ABSTRACT

Water is the most vital substance present in nature, and constitutes as an important part from materials of natural and anthropic environment. In metalworking industries, many processes are employed on a surface, with the purpose of improving the execution, increment of valuation, protection, removal of defects, among others. In one metalworking industry in the city of Santa Maria – RS, they use chemical pickling to remove these defects, which is the brushing of the metal surface clearing the layers of the metal whose coloring was modified by the heat of the weld where the reduction of chromium occurs. This work describes the development and application of a fast and low-cost methodology for the reuse of waste water in a metalworking industry with efficiency higher than 85% for removal of oils and heavy metal residues.

Keywords: removal of heavy metals, oils, chemical pickling.

¹Trabalho de Iniciação Científica.

²Acadêmicos do curso de Engenharia Química - Centro Universitário Franciscano. E-mail: laur04lves@gmail.com; magna.walre@outlook.com

³Acadêmico do curso de Engenharia Materiais - Centro Universitário Franciscano. E-mail: elson.santos@thor.com.br

⁴Colaborador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: mortari@unifra.br

⁵Orientador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: cristianorbr@gmail.com

INTRODUÇÃO

A água é uma substância vital presente na natureza e constitui parte importante de todas as matérias do ambiente natural ou antrópico. Como recurso natural essencial à existência e bem-estar do homem e de amparo ao meio ambiente, a água é um bem do qual toda a humanidade tem direito. O consumo da água por atividade distingue-se em três áreas: agricultura, indústria e urbano-doméstica (TELLES; COSTA, 2010).

O fluxo de águas residuais não é estável ou uniforme, mas varia de uma hora para a outra, de dia para dia, de mês para mês, de ano para ano (HENZE et al., 2001). Em uma indústria emprega-se o uso de água potável e de outras qualidades para o processo industrial. Cada setor de produção demanda uma quantidade e uma variedade de água a ser utilizada específica pois, esta possui uma diversificada finalidade de uso, tais como matéria-prima, reagente, solvente, lavagens de sólidos e gases, fonte de energia, transferência de calor, entre outros (SILVA et al., 2014, p. 17).

Metais pesados são um dos fatores importantes que afetam a disposição e ao reaproveitamento de águas residuais (WANG et al., 2005). Processos inovadores para o tratamento de águas residuais industriais contendo metais pesados geralmente envolvem tecnologias para redução de toxicidade para atender padrões de tratamento baseados em tecnologia (BARAKAT, 2011).

Em indústrias metal mecânica, muitos processos são empregados a uma superfície, com a finalidade de melhorar o acabamento, emprego de valor agregado, proteção, remoção de defeitos, entre outros (CALLISTER, 1991; WOLYNEC, 2003). Assim, para remoção de defeitos provocados pela solda do aço inoxidável são utilizados processos mecânicos e/ou químicos. Os processos mecânicos consistem em: lixamento, jateamento e escovamento. Já os químicos: desincrustação química, decapagem química, decapagem eletrolítica ou eletrodecapagem e passivação.

Na cidade de Santa Maria - RS o processo que uma indústria metal mecânica utiliza para remover esses defeitos é a decapagem química, que consiste na remoção superficial do metal com finalidade de retirar suas camadas cuja coloração foi modificada pelo calor da solda, onde ocorreu a redução do cromo. Nesse processo, pode-se liberar contaminantes químicos na água utilizada para a decapagem, além de metais pesados. Com isso, se faz necessário o tratamento desta água para remover impurezas, tais como: óleos e graxas, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, entre outros; para que essa água possa ser reutilizada nesse processo industrial e, ainda, diminuir a produção de resíduos. Atualmente, toda essa água sem tratamento é coletada por empresas terceirizadas, e, com o tratamento, o volume de resíduos a ser dado o devido destino será menor, com boa parte da água sendo reciclada no processo, além de diminuir o consumo de água potável. Assim, conforme Cavalcanti (2012), o sistema de tratamento de água para reuso deve ser projetado de maneira que atenda aos requisitos de qualidade exigidas e sejam viáveis tecnicamente e economicamente.

Entre os variados processos de tratamento de água, aborda-se os métodos mais relevantes para um caso específico de águas industriais, no qual os processos utilizados foram: gradeamento, retenção de óleo, coagulação, floculação, flotação, decantação e correção de pH. Geralmente, o gradeamento faz parte das primeiras etapas do tratamento de remoção de sólidos que, segundo Telles e Costa (2010), retêm o material grosseiro em suspensão e corpos flutuantes. Seu emprego, além de remover sólidos, protege os equipamentos subsequentes (bombas, registros, tubulação, etc.) e evita obstruções provenientes desses materiais.

No entanto, para a remoção do óleo dos efluentes residuais das indústrias, usam-se caixas retentoras de óleo. O princípio desta etapa baseia-se na diferença de densidade entre a água e o óleo. Como o óleo é menos denso que a água ele tende a ter uma flotação, mantendo-se na superfície do líquido.

Na etapa subsequente, é empregado o uso de coagulantes no efluente a ser tratado. Conforme Nunes (2004), a mistura do coagulante e o efluente provoca a hidrólise, polimerização e reage com a alcalinidade, formando hidróxidos denominados gel, que na solução produzem íons positivos. Estes íons desestabilizarão as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, reduzindo o potencial zeta a um ponto próximo de zero, o ponto isoelétrico e assim, permitindo a floculação.

Após haver a coagulação no tanque de mistura rápida, o efluente passará para a unidade subsequente de mistura lenta, objetivando fazer com que os coágulos, que são partículas desestabilizadas, tendem a formar agora partículas maiores denominadas flocos. A formação de flocos se dá à medida que há colisões entre as partículas. Além disso, é importante salientar que para haver formação de flocos perfeitamente grandes e com densidade suficiente para boa sedimentação, o tempo de agitação deverá ficar em torno de 5 minutos. A formação de bons flocos ocorre quando se emprega dosagem de coagulantes adequada, que sofre influência do pH e outros fatores (NUNES, 2004).

Assim, conforme Nunes (2004), para a separação de materiais de peso específico menor que da água ou óleos emulsionados, na flotação, carece de insuflar ar comprimido para que estes (sólidos de superfície) fiquem sujeitos às bolhas e, assim, sejam arrastados para a superfície, enquanto que o efluente clarificado permanece nas camadas inferiores do tanque, onde é removido. Substâncias químicas como o sulfato de alumínio, cloreto férrico, polieletrólito, podem ser adicionados, formando flocos e melhorando a eficiência do tratamento.

A técnica de decantação baseia-se no ato de separar, por gravidade, os sólidos sedimentáveis contidos em um líquido. Os sólidos sedimentam no fundo do decantador de onde são removidos como lodo, enquanto o efluente clarificado decanta pelo vertedouro. A palavra decantar significa desaguar, portanto, não deve ser referida aos sólidos, pois quem decanta é o líquido (NUNES, 2004).

Este trabalho descreve o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia rápida e de baixo custo para a reutilização de águas residuais em uma indústria metalomecânica na cidade de Santa Maria - RS, com alta eficácia e quase totalidade de remoção de óleos e resíduos de metais pesados.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de águas utilizadas para as análises são provenientes de uma indústria metal mecânica do município de Santa Maria - RS. As amostras foram coletadas diretamente do tanque de armazenamento com capacidade de 3,0 m³ provenientes da decapagem química do aço inoxidável.

As amostras foram submetidas a um sistema de tratamento de água em escala piloto (3.000 mL) e posteriormente foram realizadas determinações de composição e pH. O pH foi monitorado durante todo o processo utilizando-se um potenciômetro (Denver). Para o ajuste de pH foi utilizado hidróxido de sódio (0,1 mol L⁻¹) até obter-se um valor aproximado de pH = 8. Neste pH ocorre a alcalinidade necessária para melhor coagulação com o uso de sulfato de alumínio (CAVALCANTI, 2012).

A análise de coagulação e floculação dos sólidos presentes na água realizou-se em triplicata em um volume de 100 mL de amostra, utilizando-se respectivamente Al₂(SO₄)₃ (Synth), NaOH (NUCLEAR) e Al₂(SO₄)₃ e uma terceira amostra bruta sendo utilizada como controle (branco). Estes foram deixados em repouso e após 24 horas foram analisados quanto à eficiência de coagulação e decantação durante 24h e mantendo-se sob monitoramento de pH.

SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PILOTO

A água utilizada para a decapagem é depositada em um tanque de armazenamento. Sequencialmente, escoar para outro reservatório onde será submetida ao processo de gradeamento que retém os sólidos suspensos maiores de 1 centímetro. Após esse processo, a água entrará no primeiro estágio do tratamento de água, onde ocorrerá a retenção do óleo e a separação dos metais pesados por decantação. Nesta etapa, há o emprego de dois reservatórios acoplados. O reservatório que permanece adentro, possui um nível inferior, com finalidade de coletar o óleo, que possui uma densidade menor que a água, permanecendo, desta maneira, na camada superficial da mistura, à medida que o nível de efluente aumenta, escoando - então - para este reservatório interno destinado apenas a coleta do óleo. Os metais pesados, de maior densidade, decantarão no fundo do reservatório externo. Essa etapa inicial pode ser considerada fundamentalmente física (sem o consumo de qualquer insumo químico) e responde pela remoção do óleo e dos metais pesados de maneira eficaz, com perda de água em torno de 1%.

Na etapa seguinte, a água encontra-se apenas com sólidos dissolvidos. E então, escoar para outro reservatório onde é acrescentado o hidróxido de sódio (NaOH) para tornar o ambiente alcali e, em seguida, é adicionado sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃), ocorrendo, então, a floculação. Com isso, sedimentam-se os sólidos suspensos que ainda estavam presentes na água.

Por fim, transcorre a decantação dos sólidos suspensos (final), seguindo a água para outro reservatório, no qual é determinado o pH e - se necessário - sua correção utilizando CaO de maneira a se adequar aos parâmetros exigidos pela legislação.

DETERMINAÇÃO DOS METAIS

As amostras bruta e tratada foram filtradas (papel filtro da marca Qualy de 15 cm de diâmetro e espessura 205 μm) e encaminhadas para a determinação dos analitos (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Mn, V e Zn) pela técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma (ICP OES). O equipamento utilizado foi Spectro Ciros CCD (Spectro Analytical Instruments, Kleve, Germany). As condições operacionais estão descritas na tabela 1 e seguiram as recomendações do fabricante.

Tabela 1 - Parâmetros operacionais do ICP OES.

Parâmetro	ICP OES
Rádio frequência (W)	1400
Vazão do gás do Plasma (L min^{-1})	14.0
Vazão do gas nebulizador (L min^{-1})	1.02
Câmara de Nubilização	Double pass, Scott type
Nebulizador	Cross-flow
Observação	Axial
Linha de emissão	Nm
Cd	228,802
Co	228.616
Cr	267,716
Cu	324,754
Fe	239,562
Ni	231,604
Mn	258,373
V	290,880
Zn	213,856

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Testes iniciais da água sem tratamento indicaram um pH 3,33. Foram escolhidos o hidróxido de sódio e o sulfato de alumínio como coagulante e floculante, respectivamente. Para 1 m^3 de água, utilizou-se 500g de hidróxido de sódio e 1000g de sulfato de alumínio. Esses valores podem variar conforme o pH inicial da água a ser tratada, podendo ser necessário menores ou maiores quantidades, de acordo com o pH. O valor de sulfato de alumínio será determinado pela quantidade de hidróxido de sódio, sendo a proporção de 2:1, de acordo com experimentos realizados em laboratório.

Com o tratamento realizado, foram analisadas amostras de água bruta e água tratada para comparação e comprovação de eficácia do método de tratamento. As concentrações dos metais são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados obtidos para metais nas amostras de água bruta e pós-tratamento (n=2).

Metal	Amostra Bruta ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Amostra Tratada ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CONAMA ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Cádmio	17,8 \pm 0,8	< LQ	1,0
Cobalto	6,3 \pm 0,2	< LQ	50,0
Cromo	46,5 \pm 1,4	< LQ	50,0
Cobre	467,4 \pm 46,3	120,0 \pm 28,7	9,0
Ferro	858,4 \pm 66,4	35,4 \pm 9,5	300,0
Manganês	360,0 \pm 29,1	8,7 \pm 0,9	100,0
Níquel	< LQ	< LQ	25
Vanádio	< LQ	< LQ	100
Zinco	2820,0 \pm 114,9	65,6 \pm 4,6	180

Através da Resolução do CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos águas e as diretrizes ambientais, é possível constatar que apenas o cobre apresentou valores em concentração acima dos parâmetros máximos das normativas desta resolução, para águas potáveis. Entretanto, estes valores podem ser reduzidos, de acordo com a finalidade de reutilização da água, incrementando-se as quantidades dos reagentes utilizados para a coagulação/floculação aumentando ligeiramente, neste caso, os custos operacionais.

CONCLUSÃO

O sistema desenvolvido em laboratório mostrou-se adequado a aplicação no tratamento da água. O óleo e os metais foram separados da água com simplicidade baixo custo e eficiência. A utilização de sulfato de alumínio e hidróxido de sódio tiveram êxito no tratamento, assim como, o óxido de cálcio para a correção do pH.

A partir dos resultados obtidos com a análise físico-química da água, observou-se que a quantidade de metais analisados diminuiu consideravelmente adequando-se a resolução do CONAMA (CONAMA, 2005), com um reaproveitamento de água, livre de óleos e demais contaminantes, superior a 85% relacionado a quantidade de água bruta inicialmente empregada.

REFERÊNCIAS

BARAKAT, M. A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 4, n. 4, p. 361-377, 2011.

CALLISTER, W. D. *Materials Science and Engineering - An introduction*. 2. ed. New York: Jr John Wiley & Sons, 1991.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. 2. ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2012.

CONAMA. Resolução nº. 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **DOU**, Brasília, 18/03/2005, v. 17, n. 03.

HENZE, Mogens et al. **Wastewater treatment: biological and chemical processes**. Springer Science & Business Media, 2001.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 4. ed. Revista e ampliada. Aracaju: Gráfica editora J. Andrade Ltda., 2004.

SILVA, D. O. Z. et al. Pré-tratamento de efluente metal mecânico por processos químicos - estudo de caso. *Disciplinarum Scientia*, Série: Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 17-27, 2014.

TELLES, D. D'A.; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

WANG, C. et al. Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 119, n. 1, p. 245-249, 2005.

WOLYNEC, S. **Técnica eletroquímica em corrosão**. São Paulo: EDUSP, 2003.

