

# EXTRAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PRATA E MERCÚRIO EM EFLUENTES GERADOS NA DETERMINAÇÃO DE DQO EMPREGANDO MÉTODOS FÍSICO-QUÍMICOS

## EXTRACTION AND RECOVERY OF SILVER AND MERCURY FROM COD-TEST RESIDUES USING PHYSICO-CHEMICAL METHODS

*ROGÉRIO MARCOS DALLAGO*

Graduado em Química Industrial (UFSM). Mestre em Química Analítica (UFSM). Doutor em Química (UFRGS)  
Professor do Departamento de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões (URI), Erechim, RS

*MARCO DI LUCCIO*

Graduado em Engenharia Química (UFRJ). Mestre em Engenharia Química (UFRJ). Doutor em Engenharia Química (UFRJ)  
Professor do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões (URI), Erechim, RS

*CÁTIA GOLUNSKI*

Graduada em Ciências Biológicas e Especialista em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões – Campus Erechim - RS

*LUCIANE BATISTELLA*

Graduanda de Química Industrial na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões – Campus Erechim - RS

Recebido: 28/03/07 Aceito: 27/02/08

### RESUMO

Durante as análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO) é gerado um efluente líquido que se caracteriza pela presença de elevadas concentrações de metais pesados (Hg, Ag, Cr e Fe). Visando à remoção seletiva destes metais, possibilitando suas reutilizações, foram avaliados diferentes agentes precipitantes (Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup> e S<sup>2-</sup> para a Ag e o Hg e NaOH, NH<sub>4</sub>OH e NaHCO<sub>3</sub> para o Cr e o Fe). Para a Ag e o Hg os melhores resultados em termos de remoção e recuperação seletiva foram obtidos quando do emprego sequencial dos íons cloreto e sulfeto. Devido à presença de Hg(I), se fez necessário o emprego de NH<sub>4</sub>OH para separar seletivamente a Ag, presente na forma de AgCl, precipitada concomitantemente com Hg(I) como Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. Para o Cr e o Fe foram obtidas remoções que satisfazem à legislação (FEPAM) para ambos os elementos, somente quando do emprego do NaOH como agente precipitante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluente, DQO, tratamento físico-químico, recuperação Ag e Hg.

### ABSTRACT

*In the analysis of Chemical Oxygen Demand (COD) a liquid residue rich in heavy metals (Hg, Ag, Cr, Fe) is obtained. This work aimed to remove, in a selective way, such metals from the residue using chemical precipitation, also creating a possibility to recover and reuse the heavy metals. Different precipitants were evaluated (Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup> and S<sup>2-</sup> for Ag and Hg, and NaOH, NH<sub>4</sub>OH and NaHCO<sub>3</sub> for Cr and Fe). The best results for selective recovery of Ag and Hg were obtained using chloride followed by sulphide. Due to the presence of Hg(I) it is necessary the use of NH<sub>4</sub>OH to separate Ag and Hg(I) that are both precipitated as AgCl and Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. Removal of Cr and Fe that attends the local limits set by the official control agency (FEPAM) was only obtained when NaOH was used as precipitating agent.*

**KEYWORDS:** Waste, physico-chemical treatment, Ag and Hg recovery.

### INTRODUÇÃO

A geração e o controle de resíduos em empreendimentos industriais despertam grande interesse de técnicos, ambientalistas e da sociedade em geral, pois estão diretamente relacionadas

a questões ambientais. O controle efetivo da geração, armazenamento, tratamento, reciclagem e reutilização, transporte, recuperação e depósito de resíduos perigosos é de extrema importância para a saúde do ser humano, proteção do meio ambiente, manejo

dos recursos naturais e desenvolvimento sustentável.

O gerenciamento de resíduos industriais é hoje um dos principais problemas vivenciados pelas empresas na área ambiental, uma vez que o gerador é sempre responsável pelo seu resíduo.

Um efluente industrial corriqueiramente encontrado em laboratórios de controle ambiental é o gerado durante as análises de demanda química de oxigênio (DQO).

A DQO é um parâmetro amplamente empregado como indicador do conteúdo orgânico de águas residuais e superficiais e bastante utilizada no monitoramento de estações de tratamento de efluentes líquidos (Aquino et al, 2006). O conteúdo orgânico é mensurado pela quantidade de oxigênio requerida para oxidar a matéria orgânica contida na amostra mediante a ação de um agente oxidante forte (dicromato de potássio –  $K_2Cr_2O_7$ ) em meio ácido ( $H_2SO_4$ ), empregando o sulfato de prata ( $Ag_2SO_4$ ) como catalisador. Por não ser o processo oxidativo seletivo a compostos orgânicos, algumas substâncias inorgânicas (íons cloreto ( $Cl^-$ ), sulfeto ( $S^{2-}$ ), amônio ( $NH_4^+$ ), ferro (II) e manganês (II)) passíveis de oxidação pelo dicromato podem aumentar a DQO, contribuindo/interferindo erroneamente na análise (Kyleforts et al, 2003). Esta interferência é mais evidente em efluentes industriais, os quais comumente caracterizam-se por apresentarem quantidades significativas de substâncias inorgânicas redutíveis, como por exemplo íons cloreto. Machado e Martins (2004) na caracterização de efluentes da produção do herbicida trifluralina encontraram valores de cloreto de 75 e 350  $mg.L^{-1}$  para as águas de neutralização e aminação, respectivamente. Para minimizar estas interferências, principalmente em relação aos íons  $Cl^-$ , recomenda-se o emprego de sulfato mercurioso ( $Hg_2SO_4$ ), em uma relação  $Hg_2^{2+}:Cl^-$  de 10:1 (APHA, 1995). O mercúrio (I) precipita os íons  $Cl^-$  na forma de cloreto mercurioso ( $Hg_2Cl_2$ ).

Outra característica peculiar à análise de DQO é a geração de um efluente com elevada toxidez (apresenta grandes quantidades dos metais pesados Hg, Cr, Fe e Ag) e corrosividade (presença de  $H_2SO_4$ ), classificando-o como resíduo classe I – Perigoso (ABNT NBR 10004). Tais características inviabilizam seu tratamento em unidades convencionais comumente empregadas, como reatores aeróbicos e anaeróbicos, com posterior descarte para o meio ambiente.

Metodologias alternativas, empregando diferentes materiais adsorptivos, são citadas pela literatura para a remo-

ção de mercúrio (Paez-Hernández et al, 2005) e prata (Lasko e Hurst, 1999) em amostras aquosas.

Em relação ao tratamento de efluentes, o processo mais utilizado é o de precipitação química na forma de hidróxidos metálicos (Freeman, 1997, *apud* Alves, 2005). No entanto, a baixa seletividade deste tipo de processo inviabiliza, na maioria dos casos, a recuperação de alguns metais de elevado valor agregado, gerando no final do processo quantidades relativamente grandes de lodos contaminados com metais pesados, os quais devem ser encaminhados a sistemas adequados de tratamento ou disposição final.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar diferentes procedimentos analíticos, baseados em reações químicas de precipitação seletiva, visando não somente a redução da concentração dos metais presentes em efluentes gerados durante as análises de DQO para teores compatíveis com a legislação vigente (FEPAM), mas também a recuperação dos mesmos, permitindo sua reciclagem e reuso (Bendassolli et al, 2003).

## METODOLOGIA

### Amostra de efluente de DQO

O efluente líquido empregado neste estudo, resultante das análises de DQO, é procedente do laboratório de controle de qualidade de um frigorífico local.

## Caracterização do efluente

O teor metálico dos elementos presentes no efluente (Ag, Hg, Cr e Fe) foi determinado por espectroscopia de absorção atômica, mediante o emprego de padrões externos (0,05 a 20,0  $mg.L^{-1}$ ). O cromo (Cr) e do Ferro (Fe) foram analisados empregando com sistema atomizador a chama. Para a prata (Ag) e o mercúrio (Hg) empregou-se como sistema atomizador o forno de grafite.

## Tratamento físico-químico

As metodologias propostas basearam-se em reações de precipitação seletiva, o que permite uma separação física (sólido-líquido) eficiente do sólido gerado, mediante uma etapa de filtração ou centrifugação. Para cada elemento (Ag, Hg, Cr e Fe) foram avaliados distintos agentes precipitantes, considerando o produto de solubilidade (Kps) dos compostos formados (Tabela 1).

### Ensaio com prata e mercúrio

Para a prata e o mercúrio foram avaliados quatro (4) agentes precipitantes: cloreto ( $Cl^-$ ), iodeto ( $I^-$ ), brometo ( $Br^-$ ) e sulfeto ( $S^{2-}$ ), empregados independentemente ou associados.

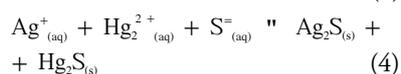
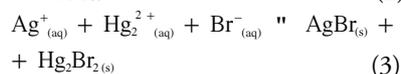
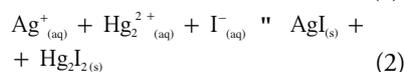
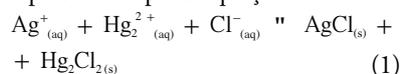
Os ensaios destinados à remoção de Ag e Hg foram conduzidos sem correção de pH. Cinquenta mililitros do efluente foram tratados, independentemente, com os respectivos agentes precipitantes ( $Cl^-$  (solução NaCl 0,1  $mol.L^{-1}$ ),

Tabela 1 - Sais de Ag, Hg, Cr e Fe e seus respectivos produtos de solubilidade (Kps)

Elemento	Agente precipitante	Composto gerado	Kps
Ag	HCl	AgCl	$1,5 \times 10^{-10}$
Ag	NaI	AgI	$0,9 \times 10^{-16}$
Ag	NaBr	AGBR	$7,7 \times 10^{-13}$
Ag	$Na_2S$	$Ag_2S$	$1,6 \times 10^{-49}$
Hg (I)	NaBr	$Hg_2Br_2$	$5,2 \times 10^{-23}$
Hg (I)	HCl	$Hg_2Cl_2$	$3,5 \times 10^{-18}$
Hg (I)	$Na_2S$	$Hg_2S$	$1,0 \times 10^{-45}$
Hg(II)	$Na_2S$	HgS	$4,0 \times 10^{-54}$
Cr (III)	NaOH/ $NH_4OH$ / $NaHCO_3$	$Cr(OH)_3$	$2,9 \times 10^{-29}$
Fe (III)	NaOH/ $NH_4OH$ / $NaHCO_3$	$Fe(OH)_3$	$3,8 \times 10^{-38}$

Vogel, 1981

Br (solução NaBr 0,1 mol.L<sup>-1</sup>), I (solução NaI 0,1 mol.L<sup>-1</sup>) e S<sup>-</sup> (solução Na<sub>2</sub>S 0,1 mol.L<sup>-1</sup>), conduzindo à formação de precipitados, representada pelas equações:



Após uma etapa de centrifugação (3500 rpm x 8'), o sobrenadante foi separado do precipitado com o auxílio de uma pipeta pasteur. O líquido resultante desta etapa foi submetido à análise em relação aos teores de Ag e Hg.

Para o ensaio conduzido com o íon cloreto como agente precipitante, após as etapas de precipitação/centrifugação/remoção, o precipitado, composto pelos sais AgCl e Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, foi tratado com uma solução de NH<sub>4</sub>OH 3 mol.L<sup>-1</sup> visando a separação seletiva da Ag do Hg.

Também foram realizados ensaios associando dois agentes precipitantes, o íon Cl<sup>-</sup> e o íon S<sup>-</sup>. Após a reação de precipitação empregando íons cloreto, a solução resultante do processo de centrifugação foi submetida a uma nova etapa de precipitação empregando íons sulfeto. Todos os experimentos foram realizados em duplicata. A solução do segundo ensaio foi reservada para o experimento destinado à remoção de Cr e Fe.

### Ensaio com cromo e ferro

Para a remoção do ferro e do cromo presentes nas soluções foram avaliados diferentes agentes precipitantes de caráter básico: bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), hidróxido de amônio (NH<sub>4</sub>OH) e hidróxido de sódio (NaOH). Após cada ensaio, os precipitados gerados (Cr(OH)<sub>3</sub> e Fe(OH)<sub>3</sub>) foram separados da solução por centrifugação e o sobrenadante, removido com o auxílio de uma pipeta pasteur, foi analisado por absorção atômica, em relação aos teores de Cr e Fe.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização do efluente

O efluente resultante da análise de DQO apresenta-se como um líquido

translúcido, de coloração esverdeada e isento de sólidos em suspensão. A Tabela 2 apresenta os resultados de sua caracterização quanto ao pH e aos teores de prata, mercúrio, cromo e ferro, incluídos os valores estipulados pela legislação estadual (FEPAM).

Os valores obtidos para os parâmetros avaliados são significativamente superiores aos limites permitidos pela legislação vigente (Tabela 2), impossibilitando seu descarte direto, sem um tratamento prévio, nos corpos receptores e nas unidades de tratamento que empregam os chamados sistemas convencionais, baseados no uso de processos biológicos (Alves et al, 2005a, 2005b). Os sistemas microbiológicos com lodo ativado, extremamente eficientes para a degradação de matéria orgânica, não são capazes de degradar os metais pesados, os quais, além de atuarem como inibidores (Souza, 1984; Alves et al, 2005a), acabam se acumulando no lodo residual, gerando, em muitos casos, volumes de resíduo contaminado superiores aos iniciais.

Neste sentido, para este tipo de resíduo, faz-se necessário o emprego de sistemas de tratamento, destinados à remoção destes metais, baseados em

processos físico-químicos, como os avaliados neste trabalho.

### Remoção seletiva de prata e mercúrio

Os resultados obtidos para os ensaios destinados à remoção seletiva da prata e do mercúrio, com os íons cloreto, brometo, iodeto e sulfeto, encontram-se apresentados na Tabela 3.

Dentre os agentes precipitantes avaliados, todos proporcionaram remoções satisfatórias de prata. No entanto, somente os íons Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup> e I<sup>-</sup> conduziram a valores, em solução, inferiores aos recomendados pelo órgão ambiental vigente no RS (FEPAM).

Para o mercúrio, somente os íons iodeto e sulfeto proporcionaram remoções significativas (> 99,5 %). Os valores obtidos quando do emprego do íon sulfeto (< 0,03 mg.L<sup>-1</sup>) estão muito próximos aos valores recomendados pela legislação (0,01 mg.L<sup>-1</sup>). Cabe ressaltar que o valor < 0,03 mg.L<sup>-1</sup> corresponde ao limite de detecção da metodologia empregada para sua análise. Considerando as solubilidades teóricas dos sais de sulfeto mercúrico (HgS = 4,6 x 10<sup>-22</sup> mg.L<sup>-1</sup>) e mercurioso

Tabela 2- Caracterização físico-química do efluente de análise de DQO

Parâmetros Avaliados	Teores (mg.L <sup>-1</sup> )	
	Resíduo de DQO	Legislação (FEPAM)
pH	0-1	6 - 8
Ag	1249,1	0,1
Hg	956,0	0,01
Cr	350,7	0,50
Fe	977,0	10,0

Tabela 3- Teores de prata e mercúrio na solução após precipitação seletiva

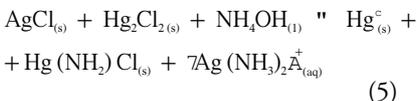
Agente precipitante	Solução resultante da etapa de remoção (mg.L <sup>-1</sup> )	
	Prata	Mercúrio
Cloreto	< 0,01*	646,01
Iodeto	< 0,01*	4,24
Brometo	< 0,01*	512,0
Sulfeto	4,9	< 0,03*
Cloreto/Sulfeto	< 0,01	< 0,03*
FEPAM	0,1	0,01

\* limite de detecção

( $Hg_2S = 2,7 \times 10^{-10} \text{ mg.L}^{-1}$ ), calculadas a partir de seus produtos de solubilidade (Kps) (Tabela 1), o elemento Hg apresenta elevada probabilidade de atender os valores recomendados pela legislação estadual vigente (FEPAM).

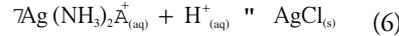
Diferentemente da prata, que quando em solução apresenta-se em um único estado de oxidação (+1), o mercúrio pode ser encontrado em dois estados de oxidação (+1 e +2), os quais apresentam reatividades distintas frente aos agentes precipitantes avaliados. O Hg(I) conduzem à formação de compostos com baixa solubilidade com todos os agentes testados. Por sua vez, o Hg(II) somente apresenta reatividade frente aos íons iodeto e sulfeto (Vogel, 1981; Harris, 2001). Neste contexto, as baixas capacidades de remoção observadas para os íons cloreto e brometo, em relação ao mercúrio, sugerem que este elemento encontra-se presente em solução nas formas oxidadas +1 e +2. Os percentuais de remoção de Hg observados para os ensaios conduzidos empregando os íons cloreto (32,4%) e brometo (46,4%), de elevada reatividade para o Hg(I), sugerem que o mercúrio encontra-se preferencialmente no estado de oxidação +2.

Cabe ressaltar que, independente do agente precipitante empregado, não foi possível a remoção seletiva dos íons Ag e Hg, uma vez que todos os ensaios ambos os íons precipitam simultaneamente. Neste sentido, visando a remoção/recuperação seletiva dos íons Ag e Hg, o precipitado procedente do ensaio com íons cloreto, composto pelos sais  $AgCl_{(s)}$  e  $Hg_2Cl_{2(s)}$ , foi submetido a uma etapa de solubilização seletiva do  $AgCl$  com hidróxido de amônio ( $NH_4OH$ ) 3 mol.L<sup>-1</sup>, de acordo com a equação:

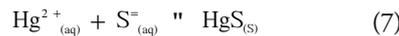


Nesta etapa observa-se a solubilização do  $AgCl_{(s)}$  na forma de um complexo diaminoargentato ( $[Ag(NH_3)_2]^+$ ), permitindo sua separação, por centrifugação, do mercúrio (I), que encontra-se nas formas sólidas de amino-cloreto de mercúrio (II) ( $Hg(NH_2)Cl$ ) e mercúrio metálico ( $Hg^{\circ}$ ). Posteriormente, a prata ( $[Ag(NH_3)_2]^+$ ) em solução, presente no sobrenadante, é reprecipitada, na forma de  $AgCl_{(s)}$ , pela adição de um ácido diluído ( $HCl$  ou  $HNO_3$  3,0 mol.L<sup>-1</sup>) (Equação 6), permitindo sua recuperação

seletiva através de uma etapa de centrifugação ou filtração. O sal obtido pode ser posteriormente reduzido à prata metálica, mediante processos pirometalúrgicos ou químicos (Bendassioli et al 2003).



O mercúrio, na forma de  $Hg^{2+}_{(aq)}$ , ainda presente no efluente oriundo do tratamento com íons cloreto, foi removido mediante sua precipitação com íons sulfeto, por meio da reação:



Este processo, conduzido associando-se os íons cloreto e sulfeto (nesta ordem) (Figura 1), possibilita a recuperação seletiva dos íons Ag e Hg e proporcionou um resíduo líquido cujas concentrações de Ag e Hg satisfazem à legislação vigente (Tabela 3 - linha 7).

Bendassoli et al (2003) conseguiram boas recuperações de prata, presentes em resíduos de DQO e de determinação de sulfeto volátil ácido (SVA) em sedimentos, baseando-se na precipitação seletiva com íons cloreto. No entanto, os autores desconsideram a presença do mercúrio e sua interferência no processo de precipitação seletiva da prata com íons cloreto, uma vez que o mesmo precipita concomitantemente com a prata.

### Remoção do cromo e do ferro

Após a etapa de remoção seletiva da prata e do mercúrio, o sobrenadante resultante foi submetido a uma na etapa de precipitação visando à remoção dos

íons  $Cr_{(aq)}$  e  $Fe_{(aq)}$  presentes em solução. Neste sentido foram avaliados 3 agentes precipitantes, de caráter alcalino ( $NaOH$  0,1 mol.L<sup>-1</sup>),  $NH_4OH$  1,0 mol.L<sup>-1</sup> e  $NaHCO_3$  1,0 mol.L<sup>-1</sup>, que conduzem à formação de hidróxidos  $\{Cr(OH)_3$  e  $Fe(OH)_3\}$  de baixa solubilidade (Kps – Tabela 1).

Após as etapas de precipitação/filtração, o efluente líquido resultante deste processo foi analisado por absorção atômica em relação aos teores de Fe e Cr (Tabela 4).

Remoções expressivas de Cr e Fe somente foram obtidas quando se empregou o hidróxido de sódio ( $NaOH$ ) como agente precipitante. Para os demais agentes precipitantes ( $NH_4OH$  e  $NaHCO_3$ ) os valores obtidos, para um dos elementos (Cr e Fe), encontram-se acima dos limites toleráveis pela legislação vigente. Para o  $NaHCO_3$ , a ineficiência em remover totalmente o Cr foi vinculada ao baixo valor do pH, o qual independente do volume de Solução de bicarbonato de sódio adicionada ao efluente, não ultrapassou a 8. Em relação ao  $NH_4OH$ , além de não remover eficientemente o Fe, este apresenta o inconveniente de liberar amônia, um gás irritante ao sistema respiratório (Félix e Cardoso, 2004).

Independentemente do agente precipitante empregado, não foi possível separar seletivamente o Cr do Fe.

### CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste artigo demonstram ser possível, por meio de uma metodologia simples,

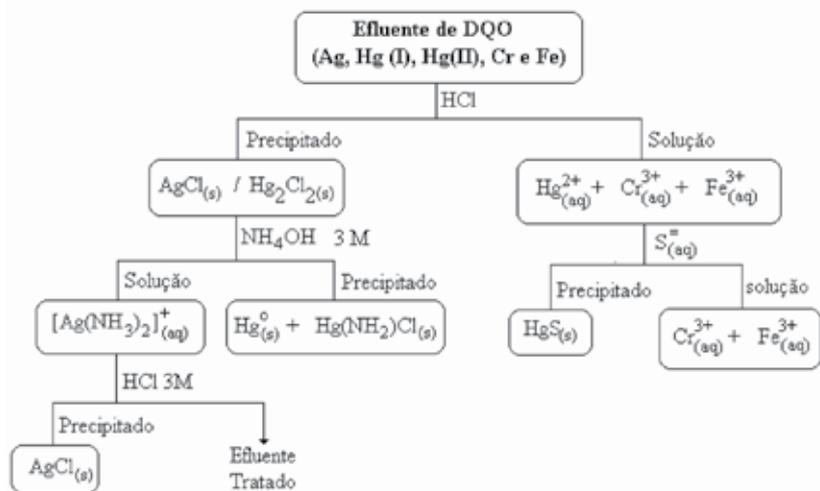


Figura 1 - Fluxograma do ensaio empregado para a remoção seletiva da prata e do mercúrio

Tabela 4- Teores de Fe e Cr na solução após ensaios de precipitação/remoção com diferentes agentes alcalinos. pH = 8

Agente precipitante	Teores (mg.L <sup>-1</sup> )	
	Cr	FE
NaOH (0,1 M)	0,157	0,150
NH <sub>4</sub> OH (1,0 M)	0,40	15,0
NaHCO <sub>3</sub> (1,0 M)	6,3	0,6
FEPAM	0,5	10,0

rápida e confiável, reduzir os teores dos metais pesados presentes no efluente gerado em análises de DQO a níveis compatíveis com a legislação vigente e ainda recuperar seletivamente a Ag e o Hg.

Dos agentes precipitantes avaliados, todos proporcionaram remoções significativas de prata. No entanto, somente os íons Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup> e I<sup>-</sup> conduziram a valores, em solução, inferiores aos recomendados pelos órgãos ambientais.

Para o mercúrio, somente os íons iodeto e sulfeto proporcionaram remoções significativas (> 99,5 %). As baixas capacidades de remoção observadas para os íons cloreto (32,4%) e brometo (46,4%), em relação ao mercúrio, foram vinculadas à presença de mercúrio nas formas oxidadas +1 e +2, encontrando-se preferencialmente no estado de oxidação +2.

O Cr e o Fe foram removidos na forma de hidróxidos metálicos mediante o aumento do pH (> 7). No entanto observa-se que o caráter alcalino do agente precipitante empregado influencia no resultado final. Remoções que atendam a legislação vigente, para ambos os elementos, somente foram observadas quando do emprego do NaOH como agente precipitante, ou seja, uma base forte.

Os melhores resultados de remoção, considerando todos os metais de interesse, foram obtidos mediante o emprego sequencial dos íons Cl<sup>-</sup> e S<sup>=</sup> e NaOH. Ao cloreto foi vinculada a remoção da Ag e do Hg(I) nas formas de AgCl e Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, os quais são posteriormente separados seletivamente mediante o emprego do NH<sub>4</sub>OH diluído. O Hg(II) é removido posteriormente mediante o emprego do íon sulfeto, na forma de HgS. O Cr e o Fe são removidos mediante o emprego de uma solução de NaOH, nas formas Cr(OH)<sub>3</sub> e Fe(OH)<sub>3</sub>.

## AGRADECIMENTOS

URI - Campus Erechim e Secretaria de Ciência e Tecnologia do RS.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 10004, *Associação Brasileira de Normas Técnica, Resíduos sólidos – Classificação*. 2004.
- ALVES, L. C.; CAMMAROTA, M. C.; FRANÇA, F. P. *Inibição de lodo biológico anaeróbico por constituintes de efluente de laboratório de controle de poluição*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 3, p. 236 - 242, 2005a.
- ALVES, L.C. et al. *Potential treatment alternative for laboratory effluents*. Bioresource Technology, v.96, p. 1650-1657, 2005b.
- APHA. *Standart methods for the examination of water and wastewater*. 19<sup>th</sup> edition. American Public Health Association, Washington, DC, 1995.
- AQUINO, S.F.; SILVA, S.Q.; CHERNICHARO, C.A.L. *Considerações práticas sobre o teste de Demanda Química de Oxigênio (DQO) Aplicado a Análise de Efluentes Anaeróbicos*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, n° 4, p. 295-304, 2006.
- BENDASSOLLI, J. A. et al. *Procedimentos para recuperação de Ag de resíduos líquidos e sólidos*. Química Nova, v. 26, n. 4, p. 578 – 581, 2003.
- FELIX, E.P.; CARDOSO, A.A. *Amônia (NH<sub>3</sub>) Atmosférica: Fontes, Transformação, Sorvedouros e Métodos de Análise*. Química Nova, v. 27, n. 1, p. 123 – 130, 2004.
- FEPAM - PORTARIA N° 05/89 – SSMA. Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente. Disponível em [www.fepam.gov.rs.br](http://www.fepam.gov.rs.br), acessada em fevereiro de 2006.
- FREEMAN, H. M. *Hazardous waste treatment and disposal*. New York: McGraw-Hill Companies, 1997. In: ALVES, L.C.; CAMMAROTA, M.C.; FRANÇA, F.P. *Inibição de Lodo Biológico Anaeróbico por Constituintes de efluente de Laboratório de controle de poluição*. Engenharia Ambiental e Sanitária, v. 10, n. 3, p. 236 – 242, 2005.
- HARRIS, D. C. *Análise Química Quantitativa*. 5ª ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 876 p, 2001.
- KYLEFORS, K.; ECKE, H.; LAGERKVIST, A. *Accuracy of COD test for landfill leachates*. Water, Air and Soil Pollution, v. 146, p. 153 – 169, 2003.

LASKO, C.L. & HURST, M.P. *An Investigation into the use of Chitosan for the removal of Soluble Silver from Industrial wastewater*. Environ. Sci. Technol., v. 33, p. 3622 – 3626, 1999.

MACHADO, E.L.; MARTINS, A.F. *Ozonização no Pré-tratamento de Efluentes da Produção do Herbicida trifluralina*, Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 2, p. 117 – 123, 2004.

PÁEZ-HERNÁNDEZ, M.E. et al. *Mercury ions removal from Aqueous solution Using an Activated Composite Membrane*. Environ. Sci. Technol., v. 39, p. 7667 – 7670, 2005.

SOUZA, M.E. *Fatores que Influenciam a Digestão Anaeróbica*, Revista DAE, v. 44, n. 137, p. 88-94, 1984.

VOGEL, A.I. *Química Analítica Qualitativa*. 5ª ed. São Paulo. Ed. Mestre Jou, 665p, 1981.

### Endereço para correspondência:

**Rogério Marcos Dallago**  
**Departamento de Ciências Exatas e da Terra**  
**Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões - URI**  
**Av. Sete de Setembro, 1621**  
**Prédio 9**  
**99700-000 Erechim - RS - Brasil**  
**Tel.: (54) 3520-9000 r.9133**  
**Fax: (54) 3520-9090**  
**E-mail:dallago@uricer.edu.br**