



## II-092 - COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO POR DECANTAÇÃO COM FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE ORIUNDO DA LAVANDERIA INDUSTRIAL

**Ariane Silveira Sbrice Pinto<sup>(1)</sup>**

Discente do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia. Aluna de Iniciação Científica.

**José Pedro Thompson Júnior**

Mestrando do curso de Pós Graduação em Química/UFU

**Talita Ferreira de Rezende Costa**

Mestranda do curso de Pós Graduação em Química/UFU

**Sheila Cristina Canobre**

Professora Doutora do Instituto de Química da UFU

**Fábio Augusto do Amaral**

Professor Doutor do Instituto de Química da UFU

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua João Alfredo, 332, Centro - Aguaí, SP - CEP: 13860-000 - Brasil - Tel: +55 (19) 81534408  
e-mail: [ariane\\_sbrice@hotmail.com](mailto:ariane_sbrice@hotmail.com).

### RESUMO

O presente trabalho investigou a relação entre o processo de decantação com o de flotação a ar dissolvido (FAD) a partir da comparação do volume de lodo formado pelos dois métodos no tratamento do efluente oriundo de lavanderia industrial. A caracterização inicial do efluente foi realizada a partir da análise do pH e índice de turbidez do efluente bruto. O tratamento da água residuária foi escolhido baseado em experimentos prévios e realizado em testes de jarro (*Jar Test*) com seis ensaios simultâneos, utilizando-se tanino associado com o sulfato de alumínio em proporções diferentes a fim de que ocorresse o processo de coagulação. O lodo formado no tratamento passou por dois processos de separação: decantação ou FAD. Os parâmetros do flotador por ar dissolvido, como pressão (5 bar) e tempo (40 minutos) de saturação, foram otimizados a fim de que houvesse a formação máxima de microbolhas e que estas fossem estáveis ao longo do processo de flotação do lodo. A formação de microbolhas foi favorecida pelo uso de 20 ppm de Docetil Sulfato de Sódio. Os parâmetros ótimos foram determinados pelo menor índice de turbidez e pelo menor volume de lodo obtido. O processo de FAD se mostrou eficiente no que diz respeito à remoção do índice de turbidez e ao volume de lodo gerado. A aplicação dos coagulantes Tanino (classe SG) e Sulfato de Alumínio na proporção de 1:1 permitiu tratamento com menores índices de turbidez e volume de lodo, tanto na sedimentação quanto para a FAD.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluente industrial, sedimentação e flotação por ar dissolvido.

### INTRODUÇÃO

O desenvolvimento científico e tecnológico na área industrial apresenta um quadro caracterizado por um volume crescente de atividades com ênfase na formação de recursos humanos, otimização dos processos existentes e a busca de novas tecnologias. A atividade industrial adquiriu um caráter essencial na sociedade contemporânea, apesar de ser a responsável pelo fenômeno de contaminação ambiental. Ao longo das décadas, a indústria tem produzido rejeitos gasosos, líquidos e sólidos nocivos ao meio ambiente.

Os processos existentes para o controle dos impactos ambientais são diversos e com eficiências variadas. Entretanto, os desafios trazidos pelos problemas relativos à poluição são cada vez maiores, tornando necessária a cooperação mútua entre as instituições envolvidas nesta questão.

Os efluentes das lavanderias industriais representam uma parcela considerável destes efluentes, principalmente pelo descarte dos resíduos gerados pela lavagem de uniformes, jalecos etc..



Os sistemas de tratamento de efluentes são baseados na transformação dos poluentes dissolvidos e em suspensão em gases inertes e/ou sólidos sedimentáveis para posterior separação das fases sólida/ líquida. Sendo assim se não houver a formação de gases inertes ou lodo estável, não podemos considerar que houve tratamento.

O processo de tratamento do efluente oriundo da lavanderia industrial inicia-se com a equalização e neutralização da superfície carregada eletricamente do efluente para que as operações de coagulação, floculação e flotação ocorram. A presença de cargas elétricas aumenta a repulsão entre as partículas, dificultando a aglomeração e a formação de agregados maiores e de mais fácil sedimentação. O processo de neutralização consiste na eliminação dessas cargas eletrostáticas superficiais, ou seja, na diminuição do potencial Zeta, também chamado de potencial de carga nula. O tratamento químico é requisito essencial para a alta eficiência da flotação por ar dissolvido, as cargas elétricas das partículas e das bolhas são fatores importantes na FAD<sup>1</sup>.

A etapa posterior consiste adição de agentes coagulantes, dos quais se destacam o Sulfato de Alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), o Policloreto de Alumínio (PAC), não biodegradáveis e possuem custo acessível e os Taninos (TANFLOC SG, TANFLOC SL e TANFLOC SS), que apesar de apresentarem alto custo, destacam-se por serem biodegradáveis. Após esta etapa realiza-se a floculação, um processo físico no qual as partículas coloidais são colocadas em contato umas com as outras, de modo a permitir o aumento do seu tamanho, aumentando sua massa. Os polieletrólitos são polímeros sintéticos, geralmente de alto peso molecular, que atuam como auxiliares de sedimentação, estes podem ser classificados em aniónicos, catiônicos e não-iônicos.

As lavanderias industriais apresentaram grande crescimento nas últimas décadas, mas por estarem localizadas no interior de grandes centros urbanos, ficaram numa situação desprivilegiada, o que prejudicou demasiadamente o aumento de suas instalações para atender a demanda de clientes, levando-se em conta que a estrutura do processo de sedimentação por decantação ocupa uma grande área construída. Surge então, a necessidade eminente de substituir esse procedimento por outra técnica que satisfaça essa limitação de espaço<sup>2</sup>.

O processo de flotação por ar dissolvido foi a alternativa escolhida neste trabalho e para testar a sua eficiência realizou-se o tratamento do efluente de forma ‘idêntica’ partindo para testes comparativos na separação do lodo formado pelo processo de decantação e flotação a ar dissolvido. As aplicações da flotação aumentam em varias áreas da Engenharia (Química, Mineração, Ambiental) em função de uma série de vantagens entre as quais a existência de novos equipamentos e técnicas. A combinação de técnicas de flotação com as tradicionais técnicas de tratamento de efluentes têm permitido um aumento na capacidade dos equipamentos, acompanhado de aumento de eficiência<sup>3</sup>.

A FAD é uma operação utilizada para separar partículas líquidas ou sólidas da fase líquida. O método por flotação de maior aplicação no setor de saneamento e tratamento de águas é a flotação a ar dissolvido (FAD) que utiliza bolhas de dimensões micrométricas (30 - 100  $\mu m$ ), possibilitando a remoção de partículas ultrafinas ( $< 5 \mu m$ ). Comparativamente à FAD, sistemas em coluna e jet, que operam com bolhas maiores e removem particulados de maior tamanho, são ainda pouco utilizados tratamento de águas e efluentes<sup>4</sup>.

Os mecanismos mais importantes são a captura do lodo por bolhas, o tamanho e a distribuição de tamanho de bolhas e arraste de bolhas. O sistema de geração das microbolhas é dado pela cavitação da água saturada com ar a pressões elevadas, 3-6 atm, e que se libera através de placas de orifício, perfuradas, ou válvulas tipo venturi ou de agulha. Nessas construções de fluxo, a solução se “sobressatura”, se despressuriza e o ar “rompe” a estrutura do fluido pela nucleação/cavitação para formar das microbolhas e então, a água saturada é inserida nos jarros flotando os flóculos obtidos pelo tratamento físico-químico. A eficiência da flotação por ar dissolvido é melhorada com a utilização da mistura bifásica composta de água e tensoativo, pois forma-se microbolhas mais estáveis<sup>56</sup>.

## OBJETIVOS

Desta forma, os objetivos deste trabalho foram investigar os parâmetros de flotação por ar dissolvido para o tratamento de um efluente proveniente de uma lavanderia industrial, comparando-os com os dados do processo de separação por sedimentação. Experimentos realizados consistiram em comparar o índice de turbidez juntamente com o volume de lodo obtidos pelo processo de decantação e a FAD. Houve adição de surfactantes na água a ser saturada para que as microbolhas formadas permanecessem mais estáveis, melhorando processo de arraste das partículas em suspensão. A relação entre a quantidade de água pressurizada e o efluente também foi investigada.

## METODOLOGIA

As amostras de efluentes foram coletadas de uma lavanderia industrial, AlSCO Toalheiros do Brasil, unidade e Arujá-SP, em dias e turnos alterados ao longo da semana. O equipamento *Jar Test* foi utilizado para os testes, contendo seis ensaios simultâneos, como mostra a Figura 1.



**Figura 1: Equipamento de *Jar Test* de bancada com efluente.**

A priori, realizou-se um estudo de caracterização do efluente e uma investigação, em laboratório, das diferentes alternativas de tratamento. Os parâmetros de análise observados na caracterização do efluente bruto foram o índice de turbidez (acima de 1400 NTU) e o pH (em torno de 9).

As características do efluente proveniente da lavanderia industrial em geral apresentam pH alcalino devido a elevada concentração de surfactantes, sendo altamente colorido, com significativas quantidades de sabões e detergentes sintéticos, óleos e graxas, sujidades e corantes. Possuía também uma DBO estimada de 2 a 5 vezes maior em comparação a apresentada pelos esgotos domésticos. As vezes, os processos de lavagem desprendem fibras de tecidos de tamanhos variados, sendo frequentemente vistas somente no microscópio 4<sup>7</sup>.

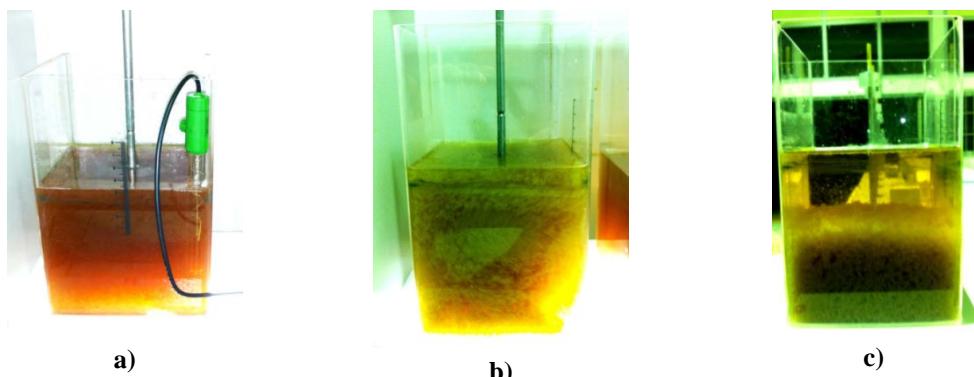
Na primeira etapa do tratamento, adicionou-se  $H_2SO_4$  10% (v/v) até pH próximo a 2,0 para quebra de óleos e graxas que pudessem estar presentes no efluente retirando-se a camada de óleo formada para posterior ajuste de pH com  $NaOH$  10% (m/v) para a faixa ótima de atuação dos agentes coagulantes/ floculantes utilizados neste procedimento (pH ~5,0).

Com o ajuste de pH realizado, foram adicionados Tanino (classe SG) associado com o Sulfato de Alumínio em proporções diferentes a fim de que ocorresse o processo de coagulação. Nesta fase, há a redução de forças eletrostáticas de repulsão que mantém as partículas separadas em suspensão, criando condições para que houvesse a união das mesmas resultando na formação dos coágulos.

A etapa posterior houve a adição do alcalinizante  $NaOH$ , a 10%, sendo o auxiliar de coagulação do trabalho. A função do hidróxido de sódio assemelha-se à dos coagulantes que desestabilizam as cargas de repulsão do efluente facilitando o processo de aproximação das partículas em suspensão. A adição foi feita até que pH estivesse próximo ao da neutralidade (~7,0), para que no final do tratamento a água possa ser descartada ou talvez submetida ao reuso sem ajuste de pH final.

Posteriormente, o agente floculante (polieletrólito aniónico), foi adicionada à água residuária para que os flocos fossem formados e, então as hélices do *Jar test* pudessem ser desligadas para o processo de sedimentação ocorresse. A fase de separação do lodo foi realizada a partir de dois métodos distintos: decantação e a flotação por ar dissolvido.

A primeira análise da pesquisa foi feita para o processo de decantação no qual o efluente permaneceu em repouso durante 10 minutos. Decorrido o tempo estipulado, a água tratada foi caracterizada através dos parâmetros fixados e do volume de lodo gerado. A Figura 2 ilustra algumas fases do processamento do efluente para a decantação.



**Figura 2: Fotos ilustrativas do efluente na etapa de a) caracterização, b) coagulação, c) decantação.**

No processo de aglomeração dos coágulos formados anteriormente utilizou-se o polieletrólito aniónico como agente floculante. Esta etapa é responsável pela formação de flocos maiores, o que facilita o processo de sedimentação ou flotação<sup>8</sup>.

Na etapa seguinte, ocorre o processo de decantação, no qual as partículas sólidas mais densas que a água decantam por ação da gravidade. Aqui, as hélices de agitação foram desligadas. A sedimentação durava em média 10 minutos. Decorrido o tempo estipulado, a água tratada foi caracterizada através do índice de turbidez e do volume de lodo gerado. A Figura 3 ilustra o processamento do efluente na fase de sedimentação.



**Figura 3: Foto ilustrativa do processo de decantação em Cones Imhoff®, após 10 minutos de sedimentação.**

Em um segundo momento, o saturador de água foi utilizado para realizar a sedimentação do lodo através do processo de flotação por ar dissolvido. O esquema do equipamento está representado na Figura 4.



a)



b)

**Figura 4: a) Foto do Saturador acoplado ao Jar test , b) no esquema indicativo de suas partes individuais.**

Nesta etapa, o saturador foi preenchido com uma solução formada por água e surfactante aniónico (20 ppm de Docetil Sulfato de Sódio,  $C_{12}H_{25}SO_4Na$ ), ajustando-se a pressão para 5 bar durante um período mínimo de 40 minutos de pressurização para que se atingisse a saturação da água com formação de microbolhas suficientemente estáveis. O sistema consiste, basicamente, na introdução de água saturada na fase líquida levando à ascensão de partículas para a superfície<sup>9</sup>.

Investigou-se duas proporções entre água saturada (35 e 70%) em relação ao volume de efluente tratado nas mesmas condições em que foi realizado o tratamento utilizando a separação por sedimentação. A figura 4 ilustra o lodo flotado a partir da FAD.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do efluente indicou que este possuía inicialmente um índice elevado de turbidez, em torno de 1638 NTU. Embora o efluente oriundo de lavanderia industrial apresente caráter básico, o pH inicial era ácido (pH ~ 2,0), visto que a água residuária já havia passado pelo processo de acidulação para a retirada de óleos e graxas.

O tratamento do efluente foi realizado alterando-se a proporção entre os agentes coagulantes Tanino (classe SG) e Sulfato de Alumínio. Cada ensaio foi realizado na mesma sistemática para que houvesse parâmetros de comparação entre a decantação e a flotação por ar dissolvido.

Os parâmetros escolhidos para a FAD foram de 35% e 70% de água saturada injetada quando comparado ao volume de efluente tratado (1000 mL). O lodo flotado pode ser retirado facilmente através de pás ou outros métodos. A figura 5 ilustra o lodo flotado a partir da FAD.



a)



b)

**Figura 5: a) e b) Imagens ilustrativas do efluente tratado pelo processo de FAD.**

A partir destas condições, investigou-se a utilização de agentes coagulantes em diferentes proporções relacionando as opções de tratamentos físicos posteriores: a sedimentação e a flotação. As análises comparativas foram baseadas no índice de turbidez e volume de lodo obtido para cada tratamento. Nas Figuras 6 a) e b) são mostradas fotos dos processos de separação por sedimentação e flotação por ar dissolvido (utilizando-se 30% de água pressurizada em comparação com o volume de efluente tratado).



a)



b)

**Figura 6: a) Foto ilustrativa de tratamento por sedimentação; b) Foto ilustrativa de um tratamento pelo processo de flotação por ar dissolvido.**

A partir da Figura 6 foi possível verificar que o lodo do efluente submetido ao tratamento de flotação a ar dissolvido é mais compacto do que aquele que foi sedimentado pela ação da gravidade. Além disso, a água que passa pelo processo decantação apresenta transparência maior do que aquela tratada pela FAD, esse resultado indica que o índice de turbidez no final do tratamento foi menor para o efluente decantado.

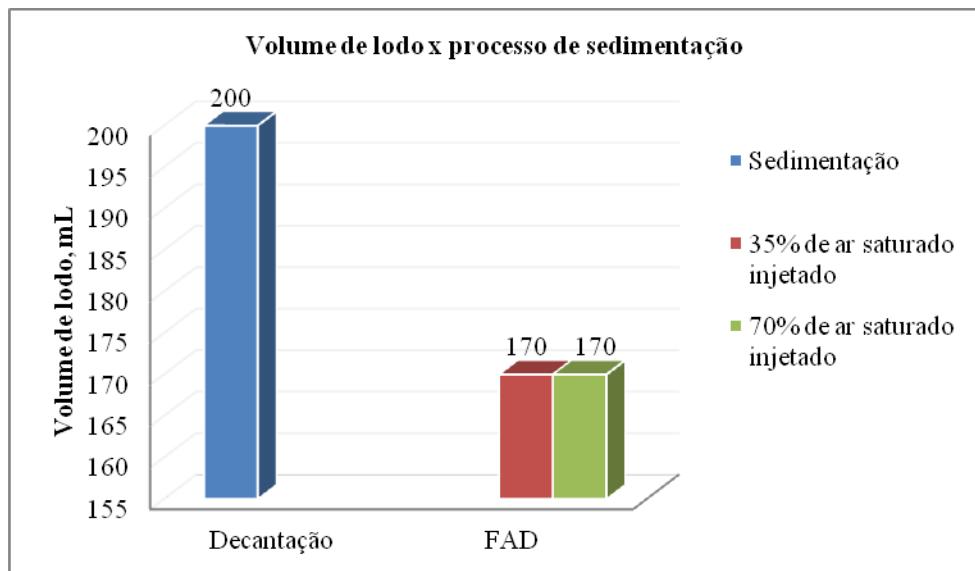
A Tabela 1 representa os valores de Índices de Turbidez e Volumes de Lodo formado após o tratamento. As porcentagens analisadas de água saturada utilizada na flotação por ar dissolvido foram 35% e 70% do volume total de efluente tratado.

**Tabela 1: Resultados obtidos com a aplicação dos coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio em processos de decantação e flotação a ar dissolvido.**

Proporção (v/v) Tanino-SG: Sulfato de Alumínio	DECANTAÇÃO		FAD (35% água saturada)		FAD (70% água saturada)	
	Porcentagem de Remoção do Índice de Turbidez	Volume lodo /mL	Porcentagem de Remoção do Índice de Turbidez	Volume lodo /mL	Porcentagem de Remoção do Índice de Turbidez	Volume lodo /mL
0:1	99,45	280	96,23	220	98,22	220
1:0	91,76	250	90,50	180	95,74	180
1:1	98,52	250	92,27	200	98,33	200
3:1	94,11	200	94,70	170	97,36	170
1:3	92,52	280	90,90	200	92,92	200

Verifica-se um percentual maior de redução do índice de Turbidez com os ensaios de decantação do que com os ensaios de FAD. Nos ensaios de flotação, foi possível analisar uma redução no índice de Turbidez maior nos ensaios que contaram com 75% de água saturada injetada, conforme esperado, vez que concomitante a flotação há também a diluição do efluente tratado com água saturada, resultando em menor valor no índice de Turbidez e um valor equivalente de lodo gerado, quando comparado ao ensaio de flotação com 35% de água saturada. O volume de lodo gerado no tratamento de efluente por flotação apresentou-se sempre menor quando comparado ao tratamento por decantação, reforçando assim uma das vantagens desse procedimento.

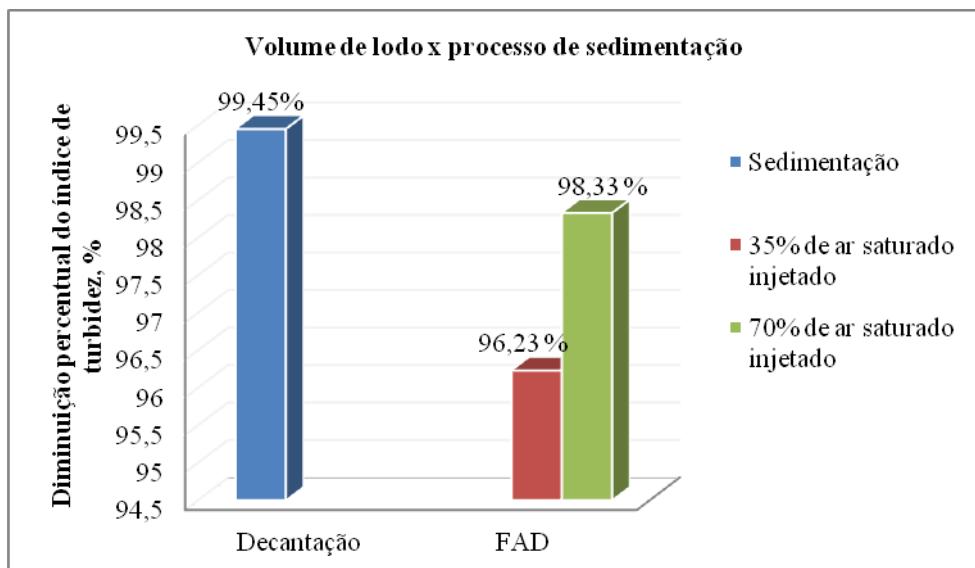
O melhor resultado para a remoção do índice de Turbidez no processo por decantação conseguiu-se com a utilização do coagulante inorgânico Sulfato de Alumínio (99,45%), sendo que quando este foi aliado na proporção de 1:1 ao Tanino (classe SG), o resultado obtido foi satisfatório, tanto para o Sulfato de Alumínio quanto para este usado em conjunto com o Tanino (classe SG), com uma remoção de 98,52% do índice de Turbidez. O coagulante Tanino (classe SG) também obteve eficiente remoção do índice de Turbidez, alcançando 95,74% ao ser utilizado no processo de flotação por ar dissolvido com 75% de água saturada introduzida no efluente. O gráfico representado na Figura 7 resume a comparação entre o volume de lodo gerado pelos melhores resultados.



**Figura 7:** Representação gráfica relacionando o volume de lodo formado (em mL) apresentado nos melhores resultados *versus* processo de sedimentação ao qual o lodo foi submetido.

A análise gráfica facilita a visualização do melhor resultado obtido para cada método de sedimentação realizado e diferentes tratamentos. Novamente, observa-se que o método de FAD proporcionou o menor volume de lodo em relação à decantação, não havendo diferença significativa para o processo de flotação por ar dissolvido em diferentes volumes de ar saturado injetado.

Os melhores percentuais de redução do índice de turbidez estão relacionados na Figura 8.



**Figura 8:** Relação da diminuição porcentual do índice de turbidez obtidos através do processo de decantação e da FAD, para tratamentos distintos.



A partir do gráfico ilustrado na Figura 8, pode-se observar que o processo de decantação é mais eficaz na diminuição do índice de turbidez. Entre os processos de FAD, observa-se que a maior eficiência está no processo que utiliza 70% de ar saturado injetado, resultado esperado visto que houve maior diluição no efluente tratado.

## CONCLUSÕES

A separação física do lodo pelo processo de decantação possibilitou melhores porcentagens de remoção do índice de turbidez em todos os casos, sendo que o melhor resultado foi de 99,45% atingido com o uso do Sulfato de Alumínio. Esse processo de decantação, porém, gerou em todos os casos um volume de lodo formado maior frente aos processos de FAD.

Com a aplicação dos coagulantes Tanino (classe SG) e Sulfato de Alumínio na proporção de 1:1 foram encontrados os melhores resultados, tanto para a redução do índice de turbidez quanto volume de lodo, para a separação por sedimentação ou por FAD.

Nos tratamentos em que se utilizou a flotação a ar dissolvido foram observados os menores índices de turbidez e volume de lodo.

Os volumes de lodo gerados não se alteraram com a porcentagem de água saturada inserida havendo uma pequena elevação na remoção do índice de turbidez quando se dobrou a porcentagem de água saturada inserida (35% e 70%), provavelmente pela diluição do efluente.

Quando comparada ao processo de sedimentação, a FAD produz lodos mais compactos, ocupando menos área e menor volume como método de separação do lodo formado no tratamento físico-químico do efluente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- <sup>1</sup> RUBIO, J., TESSELE, F. PORCILE, PA e MARINKOVIC, E. **Flotación como proceso de remoción de contaminantes : Príncipios básicos**, técnicas y aplicaciones. Minerales, 56, N° 242, pp. 9-18, 2001;
- <sup>2</sup> GIORDANO G., D.Sc, **Tratamento e controle de efluentes industriais**; disponível em [http://www.cepuerj.uerj.br/insc\\_online/itaguai\\_2011/edital/superior/biologo/Apostila%20%20Tratamento%2e%20efluentes%20industriais.pdf](http://www.cepuerj.uerj.br/insc_online/itaguai_2011/edital/superior/biologo/Apostila%20%20Tratamento%2e%20efluentes%20industriais.pdf), (consultado em 16/10/2011);
- <sup>3</sup> FÉRIS, L.A., KIPPER, P., TESSELE, F. e RUBIO, J., **Remoção de íons de metais pesados por flotação de partículas sorventes**. Congresso Brasileiro de Engenharia Química.PUC-RS, 1998;
- <sup>4</sup> AISSE, M. M. **Avaliação do sistema reator Ralf e Flotação por Ar dissolvido no tratamento de esgoto sanitário** disponível em <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/coletanea2/ART23.pdf> (acessado em 20.08.11);
- <sup>5</sup> JAMESON, G.I. e MANLAPIG, E.V. **Applications of the Jameson flotation cell**. Em: G.E. Agar (Editor, Column '91. p.535, 1991;
- <sup>6</sup> MENEZES, J. C. S. S. 2005 *apud* WOLLNER *et al.* **Clarification by Flotation and reuse of Laundry Waste Water**, 1954;
- <sup>7</sup> CRUZ, J.G.H., MENEZES, J.C.S.S., RUBIO, J. SCHNEIDER I.A.H.; **Aplicação de Coagulante Vegetal à Base de Tanino no Tratamento por Coagulação/flocação e adsorção/ coagulação/ flocação do Efluente de uma Lavanderia Industrial**, 2005;
- <sup>8</sup> ZABEL 1984, *apud* AISSE *et al.* **Aplicabilidade da flotação por ar dissolvido no pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbios** 2001;