



II-100 DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS EM LAVANDERIAS INDUSTRIAIS COM EMPREGO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO.

José Pedro Thompson Jr.⁽¹⁾

Licenciado e Bacharel em Química Industrial pela Universidade São Francisco, Pós Graduação em Gestão Ambiental pela Universidade São Francisco e Mestrando do Programa de Pós Graduação em Química da Universidade Federal de Uberlândia.

Raphael Gomes Cardoso

Graduando em Química Industrial/ UFU

Talita F. R. Costa

Mestranda do Programa de Pós Graduação em Química/ UFU

Sheila Cristina Canobre

Professora Doutora do Instituto de Química/ UFU

Fábio Augusto do Amaral

Professor Doutor do Instituto de Química/ UFU

Endereço⁽¹⁾: Rua Antônio João Batista Andreatta, 22, Afonso Zupardo, Itatiba – SP – CEP.: 13.256-694 - Brasil – Tel: (11) 4487 1479 – e-mail: thompson.jr@uol.com.br

RESUMO

O ramo de lavagem de tecidos é um importante setor de serviços na sociedade moderna e responsável por uma parcela significativa no consumo de água no meio urbano. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo geral o desenvolvimento de metodologia baseada em processo físico-químico para o tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial, com avaliação da viabilidade para o reuso. Para tal, foram realizados estudos das melhores condições de dosagem do coagulante vegetal à base de tanino, avaliando de forma comparativa os resultados obtidos no tratamento deste efluente com aplicação de coagulantes inorgânicos, auxiliares de coagulação e polieletrólitos de diferentes caracteres iônicos. Na etapa de coagulação foram testados coagulantes orgânicos a base de taninos, pouco utilizados no tratamento deste tipo de água residuária, e na etapa de floculação empregaram-se polieletrólitos sintéticos em emulsão (aniônicos e catiônicos). Além da busca pela eficiência do processo de coagulação e floculação, esta metodologia buscou também aperfeiçoar a etapa de separação dos flocos (mistura sólido-líquido) com o emprego da flotação por ar dissolvido, alternativa esta, não muito comum para esta característica de efluente (elevada concentração de sólidos) fazendo uma avaliação comparativa à decantação convencional.

Com baixas dosagens de alcalinizantes, os testes que fizeram uso dos processos de separação de sólido-líquido via flotação, foram satisfatórios em todos os ensaios do parâmetro volume de lodo, porém, os índices de turbidez dos testes que utilizaram CaOH_2 não apresentaram bons valores deste mesmo parâmetro, comparados aos testes onde foram utilizados NaOH como alcalinizante.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Efluentes, Taninos, Flotação por Ar Dissolvido.

INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos hídricos nas últimas décadas tem despertado a atenção da comunidade mundial, em virtude do comprometimento da quantidade e qualidade da água. Devido ao custo oneroso para o tratamento das águas e a deterioração dos recursos hídricos, os órgãos fiscalizadores estão estabelecendo Leis e Normas Ambientais cada vez mais restritivas quanto ao despejo de efluentes.

No Brasil, a legislação federal Resolução nº 357, de 17/03/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 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 providências¹. O tratamento de efluentes industriais tem o objetivo de despoluir o efluente bruto, visando reduzir a emissão de substâncias contaminantes no solo, na atmosfera ou em rios, lagos, represas e lençóis subterrâneos.

Lavanderias industriais são atuantes no segmento de prestação de serviços a empresas, fábricas, hospitais e domicílios, terceirizando a lavagem de roupas e uniformes realizando várias operações, tais como: amaciamentos, desbotamentos, lavagens, estonagens e desengomagens. Os despejos das lavanderias são geralmente alcalinos, altamente coloridos, apresentam turbidez elevadas e contém grandes quantidades de sabões e detergentes sintéticos, óleos e graxas, sujidades e corantes, além disso, apresentam uma DBO 2 a 5 vezes maior que a apresentadas pelos esgotos domésticos². A água que possui índices elevados de turbidez faz com que as partículas em suspensão reflitam a luz, não permitindo que esta alcance os organismos aquáticos, já a cor nas águas acaba por suprimir os processos fotossintéticos nos cursos d'água.

Devido à extrema complexidade e diversidade dos compostos que podem ser encontrados nos efluentes têxteis é que surge uma preocupação constante em desenvolver processos direcionados a uma aplicação de tratamentos mais adequada. Em sistemas coloidais, partículas que provocam turbidez têm seu tamanho variando de 0,01 a 100 micrômetros aproximadamente, sendo que frações maiores possuem maior facilidade de sedimentação ou serem filtradas. A fração de partículas de menor tamanho, ou fração coloidal (0,01 a 5 μm), é a que realmente apresenta dificuldades de separação, uma vez que o tempo de sedimentação é alto e as mesmas facilmente passam/escapam pelos meios filtrantes³.

O comportamento dos colóides na água é fortemente influenciado pela sua carga superficial. Cada partícula possui uma carga, geralmente negativa em situações de tratamento, que faz com que as adjacentes sejam repelidas, impedindo assim que estas se aglomerem ou formem flocos, permanecendo dispersas e em suspensão no meio. Entretanto, se a carga for reduzida significativamente ou eliminada, a aglomeração poderá ocorrer, primeiramente em pequenos grupos, depois a agregados maiores e finalmente em flocos de partículas visíveis que sedimentam com rapidez e podem ser filtradas com facilidade³.

A coagulação e/ou floculação são processos físico-químicos que fazem com que as partículas coloidais sejam agregadas, provocando a aglomeração das impurezas suspensas, facilitando a sua remoção⁴.

Segundo Ravina³, coagulação pode ser compreendida pela desestabilização da dispersão coloidal, devido à compressão ou redução da dupla camada elétrica. Aplica-se também à desestabilização pela adição de eletrólitos hidrolisáveis, tais como Fe^{3+} ou Al^{3+} .

Os coagulantes são substâncias adicionadas à água com a finalidade de reduzir as forças eletrostáticas de repulsão, que mantêm separadas as partículas em suspensão. Eles liberam espécies químicas com alta densidade de cargas elétricas de sinal contrário às manifestadas pelas partículas presentes na água bruta. Coagulantes naturais podem ser substitutos em potencial aos sais metálicos por se tratar de compostos biodegradáveis com alto grau de pureza⁵.

O tanino é um polímero orgânico catiônico de baixa massa molar, extraído da casca de vegetais como a Acácia Negra, atua em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação dos flocos e conseqüente sedimentação. Dentre suas propriedades, o tanino não altera o pH da água tratada, uma vez que não consome a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo em uma ampla faixa de pH, de 4,5 a 8,0⁶. Outra grande vantagem dos taninos vegetais é possuir a propriedade de adsorver metais dissolvidos em água, aglutinando-os por precipitação no meio; além disso podem eliminar ou diminuir a toxidez existente na água oriundos de fontes como cianofícias ou bactérias clorofilada por exemplo⁶.

A floculação é a etapa onde a água é agitada lentamente, visando a formação de flocos de tamanho grande que facilite a sua remoção. É 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 físico, alterando desta forma sua massa e acelerando a velocidade de decantação.

Polímeros floculantes são macromoléculas orgânicas de cadeias longas que contém, ou não, grupos ionizados. São classificados de acordo com a natureza química em naturais ou sintéticos. Podem ser catiônicos (carga positiva), aniônicos (carga negativa), não iônicos (sem carga) ou anfóteros (carga positiva e negativa).

Os polímeros de alto peso molecular causam a floculação por meio de um mecanismo eletrostático e/ou de formação de pontes poliméricas. Essas pontes devem ser de tal amplitude que possam superar a distância na qual as forças de repulsão entre as partículas atuam⁷.

Segundo Gregory⁸ e Weber⁹ mesmo sendo as partículas geralmente carregadas negativamente em alguns casos, polímeros aniônicos são eficientes para flocular partículas negativas, apesar da carga de mesmo sinal. A maioria dos floculantes aniônicos sintéticos é baseada em policrilamida que se hidrolisam convertendo os grupos amida em grupos de ácido acrílico que, em pH neutro são ionizados formando grupos carboxilados durante a fabricação.

A presença de cátions divalentes em solução afeta a absorção de polímeros aniônicos em sólidos de mesma carga. Isso se deve a compressão da dupla camada elétrica das partículas, diminuindo a força de repulsão entre as partículas e os polímeros. Outra explicação dada por Gregory¹¹, é a formação de complexos entre os cátions divalentes e os grupos carboxila do ácido poliacrílico na interface partícula/solução.

A sedimentação é um processo de separação sólido-líquido que têm como força propulsora a ação da gravidade. Segundo a concentração e a tendência das partículas interagirem.

Os processos de flotação podem ser classificados de acordo com o método de geração de bolhas. Baseado nesses métodos convencionais de geração de bolhas tem-se os seguintes processos de flotação: Eletro-flotação, Flotação por Ar Dissolvido e Flotação por Ar Induzido.

O processo de flotação é conhecido há mais de um século na área minero-metalúrgica e se encontra totalmente incorporado na maioria dos processos extrativos e de beneficiamentos de minerais¹⁰. Por outro lado, a flotação, principalmente a flotação por ar dissolvido (FAD), é uma das técnicas de separação sólido-líquido que vêm ganhando espaço no cenário dos processos de tratamento de efluentes, como um processo de descontaminação de águas pela remoção de poluentes, tais como pequenas partículas e/ou colóides, íons precipitados, macromoléculas, microorganismos, fibras, algas e outros materiais da água. Entretanto, a FAD pode ser considerada como um processo eficiente, prático e confiável na remoção de óleos e graxas, químicos, solventes, sólidos ultrafinos e coloidais, para reduzir DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) e no espessamento de lodos¹¹.

A flotação por ar dissolvido é um processo de separação sólido-líquido (e/ou líquido-líquido) no quais bolhas de ar, produzidas pela despressurização de uma corrente aquosa saturada com ar em uma pressão acima da pressão atmosférica, são utilizadas para capturar partículas sólidas (e/ou líquidas) dispersas em um meio aquoso⁹.

Este processo de separação vem ganhando espaço entre as demais alternativas de tratamento por apresentar várias vantagens como maior taxa de aplicação superficial, maior eficiência do processo, ocupar menor área útil e proporcionar a geração de um lodo mais adensado¹².

No campo teórico, muitos modelos matemáticos buscam interpretar e relacionar os parâmetros envolvidos na FAD. Edzwald¹³, Fukushi¹⁴ e Reali¹⁵ consideram como parâmetros fundamentais a distribuição de tamanhos de partículas e de micro-bolhas na zona de reação da unidade de flotação. Mais recentemente, Han¹⁶ apresenta um modelo teórico, no qual o parâmetro de controle mais significativo é a natureza eletrostática das bolhas e partículas, controlada pela etapa de coagulação. O mesmo autor ainda conclui que o tamanho ótimo de micro-bolhas depende do tamanho e da densidade das partículas presentes no afluente da FAD.

OBJETIVOS

Este estudo teve por objetivo o desenvolvimento de uma metodologia alternativa para o tratamento de efluente de lavanderia industrial, pelo uso de coagulantes a base de taninos, comparado aos resultados obtidos com coagulantes de sais metálicos. O desempenho do processo de flotação por ar dissolvido para separação (sólido-líquido) foi comparado com resultados obtidos por sedimentação por decantação.

METODOLOGIA

Os efluentes estudados neste trabalho foram provenientes de uma lavanderia industrial localizada no interior de São Paulo. Esta lavanderia atua na área de prestação de serviços a empresas, fábricas, hospitais e domicílios, terceirizando a lavagem de roupas e uniformes realizando várias operações, tais como: amaciamentos, desbotamentos, lavagens, estonagens e desengomagens.

- **Amostragem:**

Devido a freqüentes oscilações nas características dos processos, as amostragens foram realizadas de maneira composta com coletas diárias e em horários estratégicos a fim de obter-se uma composição de efluente bruto similar ao encontrado no tanque de recebimento da estação local.

Para a caracterização e tratamento dos efluentes foram realizadas coletas de amostras diretamente do tanque de equalização da estação de tratamento de efluentes, seguindo as quantidades e freqüências da tabela 1.

Tabela 1: Cronograma de coletas de amostras dos efluentes brutos das lavanderias AlSCO Toalheiros do Brasil Ltda.

Horário das Coletas	Arujá - SP	Belo Horizonte - MG
	Volume (mL)	Volume (mL)
06h	875	875
09h	875	875
12h	875	875
15h	875	875
18h	875	875
21h	875	875
0h	875	875
03h	875	875
	7.000 mL / dia	7.000 mL / dia

- **Ensaio de Jarro (Jar Test):**

Seguindo o funcionamento de uma estação de tratamento de efluentes, utilizamos um equipamento denominado “*jar test*” (Nova Ética, modelo 218) contendo 6 jarros de 2 litros cada e providos de sistemas independentes de agitação para simular em escala laboratorial os mecanismos de uma planta real. Estes jarros foram adaptados para a etapa de flotação por ar dissolvido, como pode ser observado na Figura 1.

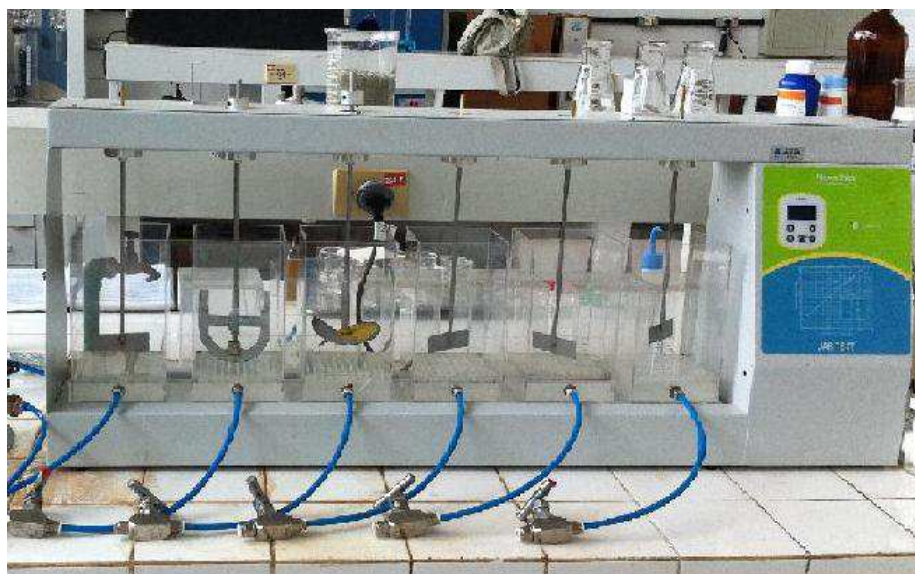


Figura 1: Equipamento Jar Test adaptado para ensaios de flotação por ar dissolvido..

- **Acidulação e Remoção de Óleos e Graxas:**

O efluente bruto oriundo das máquinas de lavagens apresentava se inicialmente com pH próximo de 9, assim, a amostra retirada para o ensaio após alguns minutos descansando no jarro, sem adição de qualquer reagente, apresentava separação dos óleos insolúveis que eram posteriormente removidos fisicamente por flotação natural (diferença de densidade);

A acidulação para remoção de óleos e graxas, foi realizada com aplicação de H_2SO_4

- **Definição dos Alcalinizantes:**

Nesta etapa foram efetuados os testes de dosagens de alguns reagentes alcalinos, tais como: $Ca(OH)_2$, NaOH ou CaO_2 , todos a 10%, cuja função é semelhante à dos coagulantes, de desestabilizar as cargas de repulsão do efluente facilitando o processo de coesão das partículas em suspensão.

- **Emprego de Coagulantes Orgânicos:**

Considerada como a etapa principal, para coagulação deste efluente foi utilizado como base de estudo o coagulante orgânico a base de tanino (compostos fenólicos, de peso molecular suficientemente elevado, contendo um número suficiente de grupos hidróxidos ou outros grupos adequados, de forma a possibilitar a formação de complexos estáveis com proteínas e outras macro-moléculas), para que reduzissem as forças eletrostáticas de repulsão que mantêm as partículas separadas em suspensão, criando condições para que houvesse a união das mesmas formando coágulos.

- **Floculação:**

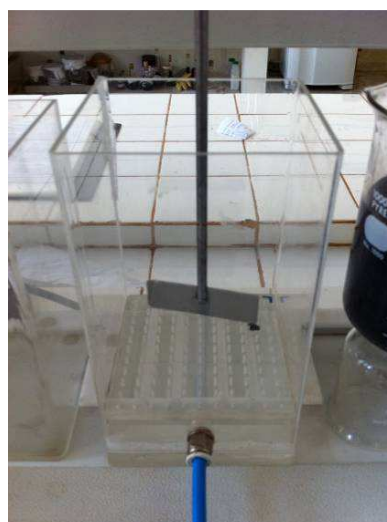
A floculação, também considerada como etapa final do tratamento químico do efluente, é responsável por unir os coágulos formados na coagulação, assim formando flocos de tamanhos relativamente grandes que facilitem sua remoção, por flotação ou sedimentação. Nessa etapa foram utilizados polieletrólitos (polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de natureza sintética, de massas moleculares geralmente muito elevadas) aniônicos, catiônicos e não iônicos.

- **Flotação por Ar Dissolvido (FAD):**

A Figura 2 mostra o sistema empregado nos estudos FAD. O sistema foi constituído de um vaso saturador composto de uma placa submersa no líquido e que têm a função de dissolver o ar injetado a pressão constante (4,5 atm e 30 minutos). A etapa subsequente incluiu a injeção de um volume, previamente definido de água saturada com ar (taxa de reciclo) na célula de flotação, através de uma válvula de constrição de fluxo. Neste ponto ocorreu a despressurização e a geração de microbolhas (20 – 120 micrometros).



a-)



b-)

Figura 2: Fotos ilustrativas do Saturador (a) e Célula de flotação (Jarros adaptados para injeção de água saturada com microbolhas de ar), (b).

A Figura 3 apresenta o esquema geral desenvolvido para esta metodologia, respeitando as instalações disponíveis atualmente na estação de tratamento de efluentes da lavanderia.

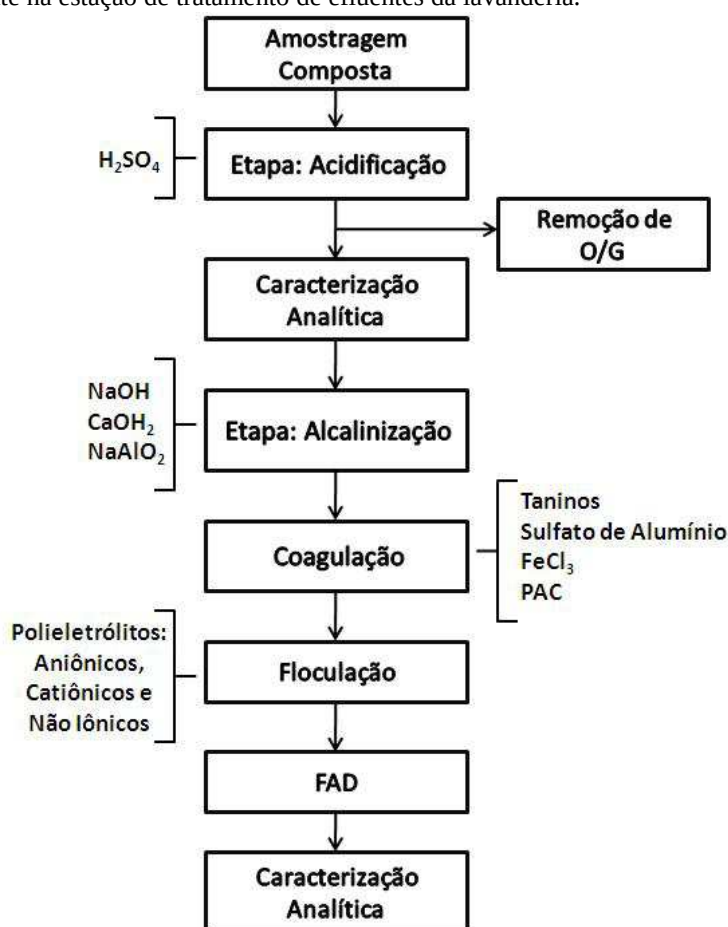


Figura 3: Esquema geral da metodologia adotada neste estudo

RESULTADOS E DISCUSSÕES

• Acidulação e Remoção de Óleos e Graxas

De maneira geral, normalmente esta água residuária contém elevadas concentrações de substâncias adicionadas nas lavagens, entre elas desengraxantes a base de hidróxido de sódio, que promoverá a remoção dos óleos e graxas dos tecidos e implicará na elevação destes resíduos na água de descarte, além das sujeiras comuns removidas das roupas.

Nesta etapa foi dosado H_2SO_4 em solução 10% adotando o controle de pH como principal referência. A solução ácida foi dosada até o ajuste do pH na faixa de 2 a 3 e com tempo de residência de aproximadamente 15 minutos, todo o óleo livre e grande parte do óleo emulsionado sfoi separado da água por diferença de densidade, podendo ser removido posteriormente por flotação. Nesta etapa a velocidade de agitação foi fixada em 100 rpm.

• Definição dos Alcalinizantes:

Nesta etapa foram efetuados os testes de dosagens de alguns reagentes alcalinos, tais como: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e NaOH , todos a 10%, cuja função é semelhante à dos coagulantes, de desestabilizar as cargas de repulsão do efluente facilitando o processo de coesão das partículas em suspensão.

Outra explicação dada por Zabel¹⁷, com a adição dos reagentes alcalinos (adição de cargas, geralmente 2^+ , 3^+) ocorre uma desestabilização na camada difusa de maneira que a mesma, para restabelecer seu equilíbrio, reduz sua espessura, eliminando a estabilização eletrostática. Por fim, as camadas difusas (composta por íons em

dupla camada que englobam a partícula) se juntam, ocorrendo à coagulação da partícula possibilitando assim uma maior eficiência na coagulação.

Tabela 2: Dados dos testes utilizando diferentes tipos de alcalinizantes.

Tanino SL (ppm)	[Alcalinizantes] (ppm)		[Polieletrólito] (ppm)	Turbidez (NTU)	Vol. lodo (mL/L)
750	NaOH	850	0,8	18,3	300
750	NaOH	750	0,8	19,8	300
750	NaAlO ₂	1.300	0,8	27,0	550
750	NaAlO ₂	1.150	0,8	28,8	400
400	CaOH ₂	830	0,8	36,8	400
400	CaOH ₂	840	0,8	34,6	400

Os ensaios com utilização do NaOH como alcalinizante apresentam resultados mais satisfatórios quanto ao índice de turbidez e volume de lodo gerado porém, o consumo de coagulante foi superior aos demais reagentes avaliados nestes testes.

• Emprego de Coagulantes Orgânicos

Conforme citado anteriormente, para avaliar o desempenho do coagulante natural, utilizou-se o produto Tanfloc, caracterizado como um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular. De acordo com a empresa fabricante, a linha Tanfloc possui origem essencialmente vegetal e se mostra competitiva com os tradicionais produtos empregados no tratamento de águas, com a vantagem de ser completamente biodegradável, o que permite a sua total digestão nas etapas biológicas do processo.

O índice de turbidez apresentado pelo efluente bruto não filtrado foi em torno de 1010 NTU e filtrado, este valor reduziu para 258 NTU, portanto para todos os ensaios seguintes efetuou-se a filtração após a remoção de óleos e graxas para iniciar a coagulação. Além disso, devido à grande variação das características do efluente todos os resultados foram expressos em percentual de remoção de turbidez.

Tabela 3: Eficiência na remoção de turbidez com a concentração de tanino e com escalonamento de pH como referência para aplicação do coagulante.

Concentração de Tanino SL / %								
	0,10	0,50	2,00	3,50	6,00	8,00	10,00	15,00
pH	Remoção de turbidez / %							
3	11,97	95,00	90,04	94,46	92,12	98,94	76,21	98,91
4	72,40	93,07	95,84	98,90	97,58	99,56	98,41	98,40
5	-2,77	73,90	87,77	99,03	80,54	99,42	98,10	99,24
6	16,78	68,88	81,05	82,99	53,49	99,40	98,23	99,04
7	18,24	60,12	70,79	66,97	35,56	96,83	95,18	98,98
8	78,54	71,63	81,89	70,36	32,52	98,44	98,20	99,05
9	87,77	75,36	89,49	85,56	47,72	99,12	97,19	99,03
10	82,04	92,65	87,39	92,11	58,35	93,08	68,29	94,80

Como pode ser observado na Tabela 3, este coagulante quando aplicado nas concentrações 8, 10 e 15%, apresenta elevada eficiência de remoção de turbidez em ampla faixa de pH (3 á 10) e independente das

concentrações, nos ensaios com pH extremos, todos testes apresentaram eficiência satisfatória na remoção de turbidez.

Utilizando NaOH 10% (m/v) como alcalinizante para que se pudesse atingir o melhor ponto de atuação de coagulantes/floculantes no tratamento. Como a melhor faixa de atuação das classes de taninos está entre 4,5 e 8,0¹⁸ foi determinado que nesta etapa o pH fosse ajustado em 5,0.

Sabendo das características do coagulante mais conhecido e utilizado no mercado, o Sulfato de Alumínio apresenta limitações na sua aplicação e quanto maior for sua concentração de dosagem, haverá redução do pH da solução por ser um coagulante ácido. Em relação ao Tanfloc, a eficiência obtida em ampla faixa de pH pode ser justificada pelo fato deste produto não consumir a alcalinidade do meio.

Em estudos realizados sobre a coagulação/floculação de suspensões ricas em óxido de ferro, utilizaram o sulfato de alumínio como agente coagulante em proporções de 10, 100 e 1000 mg.L⁻¹ para um valor de turbidez igual a 2.300 NTU. A partir dos resultados obtidos, os autores verificaram que os valores de turbidez final permaneceram aproximadamente constantes para concentrações superiores a 100 mg.L⁻¹. Segundo os mesmos autores, estes resultados sugerem que concentrações mais elevadas de coagulante não trazem nenhum benefício em termos de redução efetiva de turbidez¹⁹.

Em comparação ao presente estudo, a análise realizada pelos referenciados autores, remete a compreensão de que, para a água utilizada, com valor de turbidez excepcionalmente inferior a 1,14 NTU (melhor índice de turbidez obtido com 99,56% de eficiência), os valores obtidos permitem a percepção de que a concentração (8%) seria um valor considerado ótimo para este parâmetro, ou seja, concentrações superiores, não promoveriam um aumento na redução de turbidez do meio.

• Floculação

Dependendo do tipo de grupo ionizável na unidade manométrica, um polieletrólito pode ser considerado catiônico, aniônico ou anfótero. Neste trabalho foi utilizado polieletrólito aniônico, pois em testes preliminares os melhores resultados apresentados foram obtidos com sua utilização.

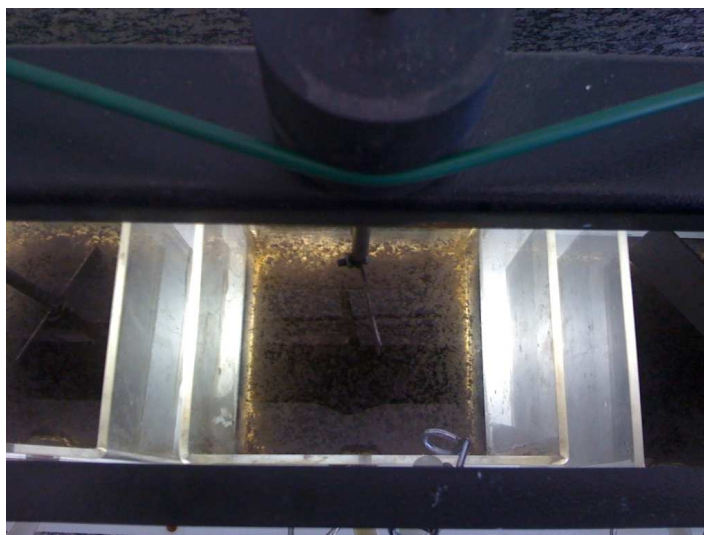


Figura 3: Visualização superior do jarro durante etapa de floculação com emprego de polieletrólito aniônico

Como pode ser observado na Figura 3, nesta etapa foi possível avaliar também a aplicabilidade e a eficiência dos polieletrólitos para floculação.

Além da avaliação dos coagulante e polieletrólitos, também foram tratados como objeto de pesquisa, os gradientes de velocidades da agitação, tempo e configuração dos agitadores empregados nas etapas de coagulação e floculação.

Observou-se nesta etapa a formação de uma maior quantidade de sólidos quando comparado com os resultados obtidos com o sulfato de alumínio. Visualmente, pode-se verificar que os flocos formados pelo tanino apresentavam-se mais definidos e aglutinados quando comparados com o sulfato de alumínio. A forma do flocos originado pela adição de tanino possui forma irregular, apresentando uma superfície relativamente maior do flocos, o que proporciona uma maior área de contato se comparado ao flocos originado pelo sulfato de alumínio, obtendo-se, assim, uma clarificação mais eficiente, com uma menor cor e turbidez final²⁰.

- **Flotação por Ar Dissolvido (FAD)**

Os testes preliminares realizados para a flotação por ar dissolvido mostraram que, quanto ao índice de turbidez, este processo é mais eficiente comparado a sedimentação por decantação. As condições ótimas para a realização deste processo ainda devem passar por aperfeiçoamentos.

O lodo inorgânico gerado na etapa anterior pode ser considerado como principal dificuldade deste processo, pois, além da dificuldade no manuseio em função do volume acentuado, o teor de umidade é bastante elevado. Assim, como pode ser observado na Figura 4, outro objetivo deste estudo foi investigar as características e o volume deste lodo formado no final de seu processamento, correlacionando a separação pelo método de decantação por gravidade com o procedimento de flotação por ar dissolvido.

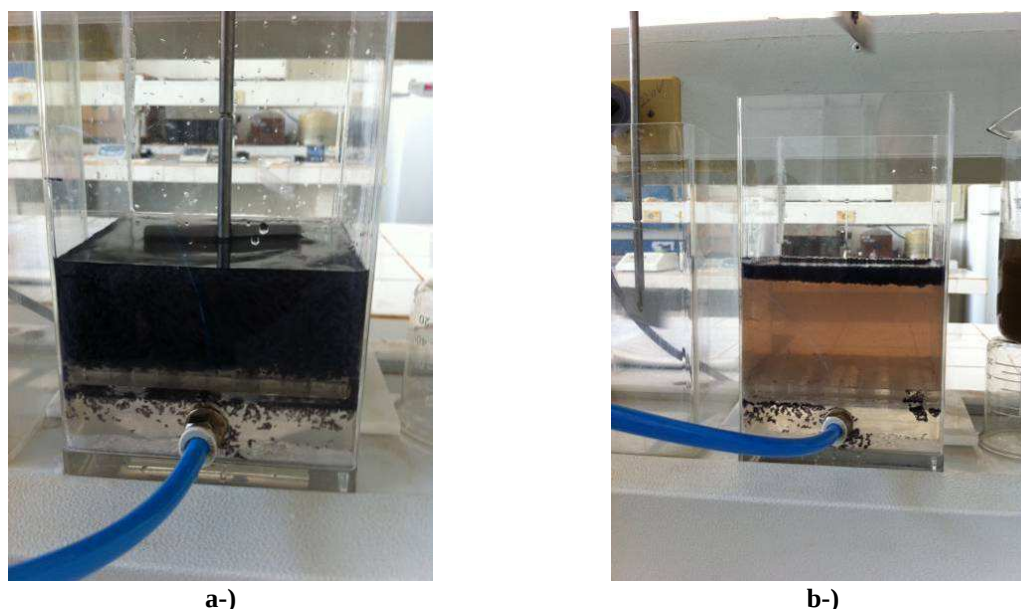


Figura 4: Ensaio com efluente em tratamento na etapa de floculação sob agitação (a) e Após processo de FAD (b).

Tabela 4: Ensaio realizados utilizando coagulante orgânico e NaOH como alcalinizante.

Método de Separação	[Tanino] (ppm)	[NaOH] (ppm)	[Polieletrólito] (ppm)	Índice de Turbidez (NTU)	Vol. Lodo (mL/L)
Sedimentação	750	850	0,8	18,3	300
Sedimentação	750	750	0,8	19,8	300
Flotação 17,5%	750	300	0,8	60	150
Flotação 35%	750	300	0,8	50	125
Flotação 70%	750	300	0,8	120	100

Observa-se na Tabela 4 que, nesta etapa os ensaios foram realizados com objetivo de avaliar o índice de turbidez e o volume de lodo comparando dois métodos distintos de separação (sólido-líquido).

Os resultados obtidos pelo processo de sedimentação, os volumes de lodo sedimentados permaneceram inalterados, enquanto a remoção da turbidez apresentou um índice melhor com o aumento de dosagem do alcalinizante.

Tabela 5: Ensaios realizados utilizando coagulante orgânico e NaOH como alcalinizante.

Método de Separação	[Tanino] (ppm)	[Ca(OH) ₂] (ppm)	[Polieletrólito] (ppm)	Índice de Turbidez (NTU)	Vol. lodo (mL/L)
Sedimentação	750	300	0,8	45	350
Flotação 17, 5%	750	300	0,8	22	125
Flotação 35%	750	300	0,8	42	100
Flotação 70%	750	300	0,8	28	200
Sedimentação	400	830	0,8	36,8	400
Sedimentação	400	840	0,8	34,6	400
Flotação 17,5%	400	300	0,8	120	150
Flotação 35%	400	300	0,8	90	100
Flotação 70%	400	300	0,8	32	125

Embora o consumo do coagulante seja consideravelmente elevado, o ensaio de Flotação com taxa de reciclo de 17,5% acima destacado, apresentou excelente redução do índice de turbidez e volume satisfatório de compactação de lodo.

Com a injeção de água saturada (esta composta com água limpa), todo processo de flotação deverá apresentar índices de remoção de turbidez abaixo dos ensaios de sedimentação. Este fato deve-se à diluição da amostra em teste, pela água saturada com micro-bolhas.

A avaliação dos índices de turbidez entre os processos de sedimentação e flotação, na maioria dos casos apresentarão melhores resultados os processos de decantação, pois, o fator tempo deve ser considerado como fator limitante e paralelo aos parâmetros aqui mensurados.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado conclui-se que:

O tratamento de efluentes se mostra eficiente e cria condições de despejo a corpos hídricos sem alteração de sua qualidade e também o reuso da água dentro da própria indústria. Os reagentes e métodos utilizados neste tratamento influenciaram na qualidade final do efluente, e foram estudados considerando a viabilidade técnica e econômica.

A utilização do Ca(OH)₂ como alcalizante ocasiona aumento na densidade dos flocos e pode comprometer diretamente o processo de flotação das partículas. Tal fato pode ser observado nesta tabela com o maior volume de resíduos sedimentáveis com relação aos resíduos compactados pela flotação.

O coagulante orgânico empregado se mostrou eficiente no tratamento da água utilizada neste estudo. Embora alguns estudos na literatura sugiram que a utilização de polímeros naturais não seja tão efetiva no tratamento de água quanto no tratamento de efluentes, este tipo de coagulante apresenta vantagens a serem consideradas, como a inexistência de metais remanescentes na água tratada e no lodo gerado ao fim do processo de



tratamento, facilitando à disposição final do mesmo ou a sua utilização para fins mais específicos, como a agricultura, por exemplo.

Juntamente com a determinação da eficiência do coagulante orgânico, foram avaliadas também as melhores condições de velocidades de agitação e percebeu-se que as menores velocidades (15 rpm para coagulação e 15 rpm para floculação), combinadas com o polieletrólito aniônico, forneceram os melhores resultados, no que diz respeito aos menores índices de turbidez e menor volume de lodo formado.

Com baixas dosagens de alcalinizantes, os testes que fizeram uso dos processos de separação de sólido-líquido via flotação, foram satisfatórios em todos os ensaios do parâmetro de avaliação volume de lodo, porém, a os índices de turbidez não apresentaram bons valores comparados aos processos de sedimentação.

Para futuros estudos de viabilidade do reuso destas águas, o residual de Cálcio (Dureza Total) deve ser avaliado criteriosamente visto a possibilidade de possíveis problemas nos processos ou utilização desta água em equipamentos com elevadas taxas de evaporação.

O modo de aplicação da água saturada pode comprometer a turbidez da água, dependendo da fragilidade da estrutura do floco, pode haver o rompimento mecânico e reversão dos sólidos sedimentáveis para sólidos em suspensão.

Para trabalhos futuros deverá ser adotada a utilização da água de reciclo no saturador, a fim de promover maior reprodutibilidade com as condições ideais para este parâmetro.

Apesar de este estudo ter sido realizado de maneira a verificar a eficiência do coagulante orgânico no tratamento de água residuária, muitos estudos ainda devem ser realizados de forma a caracterizar por completo este coagulante e sua eficiência no tratamento de águas para consumo humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ VAZ, L. G. LIMA, (2009). Performance do Processo de Coagulação/Floculação no Tratamento do Efluente Líquido Gerado na Galvanoplastia. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, UNIOESTE, Toledo, PR, 2007.
- ² WOLLNER, H., J.; KUMIN, V.M.; KAHN, P.A. Clarification by flotation and re-use of laundry wastewater. *Sewage and Industrial Wastes*, v.26, n.4, p. 509-519, 1954.
- ³ RAVINA, L. apud MENEZES, J. C. S. S.; Tratamento e Reciclagem de um efluente de lavanderia industrial, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRS, Porto Alegre, 2005.
- ⁴ BRATBY, J. Coagulation and Flocculation. Upland Press Ltd, Croydon, UK, 1980.
- ⁵ OZACARR, M.; Sengil, I. A; apud MENEZES, J. C. S. S.; Tratamento e Reciclagem de um efluente de lavanderia industrial, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRS, Porto Alegre, 2005.
- ⁶ MARTINEZ, F. et al. Resinas de taninos vegetais para a Remoção de metais. Universidade de Havana, Cuba, 1997.
- ⁷ HESSELINK, F.T.H. Adsorption of polyelectrolytes from dilute solutions. In: PARFITT G.D.E. ROCHESTER, C.H. (Ed.) Adsorption from Solution at the Solid/Liquid Interface. New York: Academic Press, 1983. Cap.8, p.377-412.
- ⁸ GREGORY, J. The role of colloid interaction in solid-liquid separation. *Water Science and Technology*, London, v.27, n.10, p.1-17,1993.
- ⁹ WEBER Jr., W.J. Physicochemical Processes for Water Quality Control. New York: Wiley-Interscience, 1972, p.750.
- ¹⁰ TESSELE, F.; DA ROSA, J.; SOUZA, M. L.; RUBIO, J. Os avanços da flotação no tratamento de águas, esgotos e efluentes. Parte II: Aplicações. *Saneamento Ambiental*, nº 115, Julho/Agosto, 2005.



- ¹¹ FERIS L.A and RUBIO,J; Dissolved air flotation (DAF) performance at low saturation pressures Filtration and Separation, 36(9), 61-65; 1999.
- ¹² RUBIO, J.; SOUZA, M.L.; SMITH, R.W. Overview of flotations as a wastewater treatment technique. Minerals Engineering, London, v.15, p.139-155, 2002.
- ¹³ EDZWALD, J. K.; MALLEY, J. P. Concepts of dissolved-air flotation treatment of drinking waters. Journal Water SRT-Aqua, v. 40, n. 1, p. 7-17, 1991.
- ¹⁴ FUKUSHI, K.; TAMBO, N.; MATSUI, Y. A. Kinetic Model for Dissolved Air Flotation in water and Wastewater Treatment. Wat. Sci. Tech., v. 31, n. 3-4, p. 37-47, 1995.
- ¹⁵ REALI, M. A. P. Proposição de um modelo teórico para o processo de flotação por ar dissolvido. In: XXIV CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. AIDIS-94. Buenos Aires. Argentina, 1991.
- ¹⁶ HAN, M. Y. Modeling of DAF: the effect of particle and bubble. Journal of Water Supply: Research and Technology. v. 51, n. 1, p. 27-34, 2002.
- ¹⁷ ZABEL 1984, apud AISSE et al. Aplicabilidade da flotação por ar dissolvido no pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbios 2001.
- ¹⁸ Ficha Fabricante Tanino SL http://www.tanac.com.br/PT/upload/produtos/CT_TANFLOC_SL_PT.pdf acesso em 22/02/2012.
- ¹⁹ GUEDES, C. D. et al. Coagulação/floculação de suspensões ricas em óxidos de ferro por sulfato de alumínio. Química Nova, v. 27, n. 5, p. 715-719, 2004.
- ²⁰ TANAC. Tratamento de águas. Disponível em:
<http://www.tanac.com.br/PT/detCategoria.php?codcategoria_de_produtos=4>. Acesso em: 20 fev. 2012.