



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-020 - EMPREGO DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVAGEM DE VEÍCULOS VISANDO A RECICLAGEM DA ÁGUA

Priscila da Cunha Teixeira⁽¹⁾

Engenheira Civil, Mestre e Doutoranda em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil - Unicamp UNICAMP

Carlos Gomes da Nave Mendes⁽²⁾

Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Engenharia Civil na área de concentração Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Prof. Doutor do Departamento de Saneamento e Ambiente - Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas.

Endereço⁽¹⁾: . Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Av. Albert Einstein, 951, Caixa Postal 6021, Barão Geraldo, Campinas/SP, CEP 130831-852970, Tel (19) 3287-0153, E-mail:

 priscilatomas@universiabrasil.net

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho da flotação por ar dissolvido (FAD) na remoção dos principais poluentes em águas residuárias provenientes de instalações de lavagem automática de veículos. Foram realizados testes de bancada, em reatores intermitentes (batelada), utilizando aparelho de floteste. Na primeira etapa, variaram-se o pH e a dosagem de três tipos de coagulante, cloreto férrico, sulfato de alumínio e PAC. Os melhores resultados foram obtidos com o PAC em dosagens entre 50 a 70 mg/L numa faixa de pH entre 7,3 e 8,5. Depois foi testada a eficiência de vários tipos de polieletrólitos como auxiliares de floculação em termos de redução de Demanda Química de Oxigênio, turbidez e cor. Verificou-se que o emprego de polieletrólitos catiônicos é útil como auxiliar de floculação, principalmente sob o aspecto de ganhos na eficiência de remoção de substâncias causadoras de DQO, sem, contudo, permitir a redução de dosagens do coagulante primário. Foram otimizados os parâmetros de floculação, sendo que, os melhores valores foram obtidos com o emprego de um gradiente de velocidade de 50 s^{-1} num período de 13 minutos. Quanto aos parâmetros de flotação, as eficiências de remoção de turbidez, cor aparente e DQO foram maximizadas quando se emprega uma taxa de escoamento superficial limitada a $72 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e vazões de recirculação superiores a 5 %. Sob as mesmas condições de coagulação e floculação, o desempenho da FAD foi superior ao manifestado pela decantação, mesmo empregando uma taxa de escoamento superficial maior para a flotação. Em geral, o processo de FAD produziu efluentes com turbidez, cor e DQO baixas, o que indica o potencial do uso desta tecnologia para a reciclagem da água.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem, Floculação; Flotação por ar dissolvido; Lavagem de veículos

INTRODUÇÃO

Atualmente, a escassez de água, tem causado impactos na indústria de lavagem de veículos em todo o mundo. As regulamentações tornam-se cada vez mais exigentes quanto ao descarte de efluentes e os custos com tarifas de consumo de água potável e afastamento e coleta de esgotos são crescentes. A lavagem de veículos apresenta um alto consumo deste recurso natural, podendo atingir um volume aproximado de 260 L por veículo (U.S.EPA, 1980). Além disso, seu efluente nem sempre tem a disposição final adequada. Grande parte das máquinas de lavar veículos localiza-se em postos de combustíveis, os quais têm enfrentado crescentes problemas quanto ao lançamento de seus efluentes. Como muitos estabelecimentos não possuem rede de esgotos, é comum a ocorrência do seu descarte no sistema de

águas pluviais, o que certamente não é recomendável.

Por todas estas razões, um sistema de tratamento de água eficiente, que permita a reciclagem de efluentes das lavagens de veículos poderia amenizar tais problemas.

Há a necessidade da aplicação deste tipo de tecnologia à realidade do país para tornar a sua aplicação viável às pequenas empresas, como os postos de combustíveis. Por isso, é um grande desafio aprimorar técnicas de reciclagem de água em estabelecimentos de pequeno porte. Estas devem diminuir os riscos de contaminação e ao mesmo tempo, privilegiar um baixo custo de implantação e operação.

O efluente gerado por atividades de limpeza de automóveis pode conter quantidades significativas de óleos e graxas, sólidos em suspensão, metais pesados e surfactantes. Para Jönsson & Jönsson (1995) este efluente contém óleo, graxa, partículas de poeira, carbono e asfalto carregados da superfície do carro. Pode conter fluido hidráulico e óleo proveniente do motor e sistema de freios. Por isso sua composição é bastante complexa, constituindo uma fonte significativa de DQO.

O objetivo principal deste trabalho foi investigar, em experimentos realizados em escala de bancada, o desempenho do tratamento físico-químico por coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido (FAD) na remoção dos principais poluentes, presentes em águas residuárias provenientes de instalações de lavagem automática de veículos, verificando-se a possibilidade de reciclagem do efluente tratado.

A flotação é definida como um processo de remoção de partículas, no qual ocorre a introdução de microbolhas de ar, que, quando em contato com as partículas, formam um aglomerado partícula-bolha de densidade aparente menor que a da água, que tende a flutuar até a superfície do tanque de flotação, onde é removido (LACERDA *et al.*, 1998). Na flotação por ar dissolvido, as bolhas de gás são obtidas por meio da liberação da parcela de gás, previamente dissolvida na massa líquida, devido à repentina queda de pressão na entrada do tanque de flotação. Segundo a U.S.EPA (1997), a flotação por ar dissolvido é utilizada quando a sedimentação é ineficiente na remoção de sólidos em suspensão, emulsões de óleo e alguns poluentes dissolvidos.

De acordo com LEPPINEN (2000) as cargas elétricas das partículas e das bolhas são fatores muito importantes na FAD. O pré-tratamento químico é um requisito essencial para a alta eficiência da FAD. Geralmente, são necessários gradientes de velocidades altos durante a dosagem química (mistura rápida) e menores para promover a agregação das partículas durante a floculação.

Segundo AL-SHAMRANI *et al.* (2002), ainda não são claras quais as condições de floculação ótimas para a flotação por ar dissolvido. Há divergências quanto ao tempo de floculação, gradiente de velocidade e tamanho dos flocos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta de amostras. Foram realizados vários ensaios de tratabilidade com as amostras coletadas em um sistema de lavagem de veículos, instalado no setor de transportes e manutenção da UNICAMP, no campus da Cidade Universitária, Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas.

Produtos Químicos Utilizados. Os produtos químicos utilizados nos ensaios de coagulação, floculação e flotação, foram soluções padronizadas a 0,1 N de NaOH e HCl para o ajuste de pH, coagulantes e polímeros, cujas especificações são apresentadas a seguir:

- Sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14,3 \text{ H}_2\text{O}$, a solução diluída a 45,7 % (45,7 g em 100 mL);
- Cloreto Férrico $\text{FeCl}_3 \times 6 \text{ H}_2\text{O}$ a solução diluída a 41 % (41 g em 100mL);
- PAC (Hidroxiclreto de alumínio) PANFLOC HIPER PLUS da Indústria PAN-AMERICANA S.A.,
- PAC (Hidroxiclreto de alumínio) PANFLOC AP da Indústria PAN-AMERICANA S.A;
- W 360 da Nalco Produtos Químicos Ltda: polímero catiônico com alta massa molecular, aparência líquida fosca, densidade a 20°C de $1,05 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$; pH da emulsão de $4,0 \pm 0,5$;
- G999 da Nalco Produtos Químicos Ltda: poliácridamida não iônica com alta massa molecular, sólido granulado com granulometria de no máximo 1,25 mm e teor de insolúveis de no máximo 5 %, Densidade aparente de $0,75 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$ e concentração de dissolução de 5,0 g/L;
- G9046 da Nalco Produtos Químicos Ltda: poliácridamida de altíssima carga catiônica com alta massa molecular, sólido granulado com granulometria de no máximo 1,25 mm e teor de insolúveis de no máximo 5 %, Densidade aparente de $0,80 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$ e concentração de dissolução de 15 g/L;
- Praestol 2515 TR da Stockhausen Latino Ltda: é um polieletrólito aniônico, a base de poliácridamida. É um

- material granular branco, com densidade aproximada de 700 kg/m^3 , pH 7 (aproximadamente);
- TANFLOC SG da TANAC S.A.: é um extrato vegetal obtido através da lixiviação aquosa da casca da Acácia Negra, um polímero orgânico catiônico líquido, de coloração marrom, densidade a 23°C de $1,1 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$; solubilidade total em água, com pH entre 1,7 e 2,3.

Características da instalação. Os ensaios de coagulação, floculação e flotação foram realizados numa unidade de flotação por ar dissolvido em escala de bancada com escoamento descontínuo; conhecido como equipamento de floteste, conforme é mostrado na *figura 1*. O equipamento é constituído de uma câmara de pressurização e recirculação, seis jarros de coagulação-floculação-flotação, dispositivos de aplicação conjunta de produtos químicos e de coleta de amostras dos jarros, e conjunto único, moto-redutor, provido de ajuste da rotação (15 a 480 rpm) aplicada nas paletas agitadoras dos jarros e tacômetro digital. A parte inferior dos jarros é constituída de "manifold" provido de diversos orifícios que permitem a introdução e distribuição uniforme de água saturada com ar, além de válvulas esfera de engate rápido, e mangueiras de conexão com a câmara de saturação e dispositivos de controles diversos.



Figura 1 - Fotografia do floteste utilizado na pesquisa

Ensaio no Floteste. A metodologia adotada, a qual é semelhante à utilizada por CENTURIONE FILHO (2002), inicia-se com o preenchimento da câmara de saturação com água proveniente da rede pública de abastecimento, pressurizando-a no valor pré-estabelecido (P), mantendo-se o processo de saturação por um período mínimo de 10 minutos. O volume correspondente às dosagens pré-estabelecidas de coagulante era adicionado em cada jarro, utilizando os frascos de aplicação simultânea. Após o período desejado de mistura rápida (T_{mr}), a rotação era ajustada para o valor correspondente ao gradiente de velocidade (Gf) desejado para a etapa de floculação e o cronômetro era acionado. Ao final do tempo de floculação, desligava-se a agitação, se levantavam-se as hastes dos agitadores e os registros dos jarros eram abertos para a aplicação da água de recirculação. O cronômetro era acionado ao final da introdução de água saturada com ar. As amostras eram, a seguir, coletadas para as velocidades ascensionais desejadas, sempre fazendo um descarte de duração aproximada de 5 s antes de cada coleta. A escolha dos parâmetros estudados para cada amostra flotada, foi realizada de acordo com a cada etapa do trabalho, como pode ser verificado na sequência ilustrada no fluxograma da *figura 2*, apresentado a seguir:

Série A: Testes Preliminares para escolha do coagulante; pH_{in} = 4,0; 7,0 e 9,0; dosagem entre 50 e 150 mg/L. Coagulantes testados: cloreto férrico, sulfato de alumínio e dois tipos de hidróxicloreto de alumínio (Panfloc Hiper Plus e Panfloc AP da indústria Panamericana S.A.). Parâmetros fixos: T_{mr} = 10 s; G_{mr} = 1000 s⁻¹; T_f = 10 min; G_f = 50 s⁻¹; R = 10%; V_{asc} = 5 cm/min; P = 400 kPa.

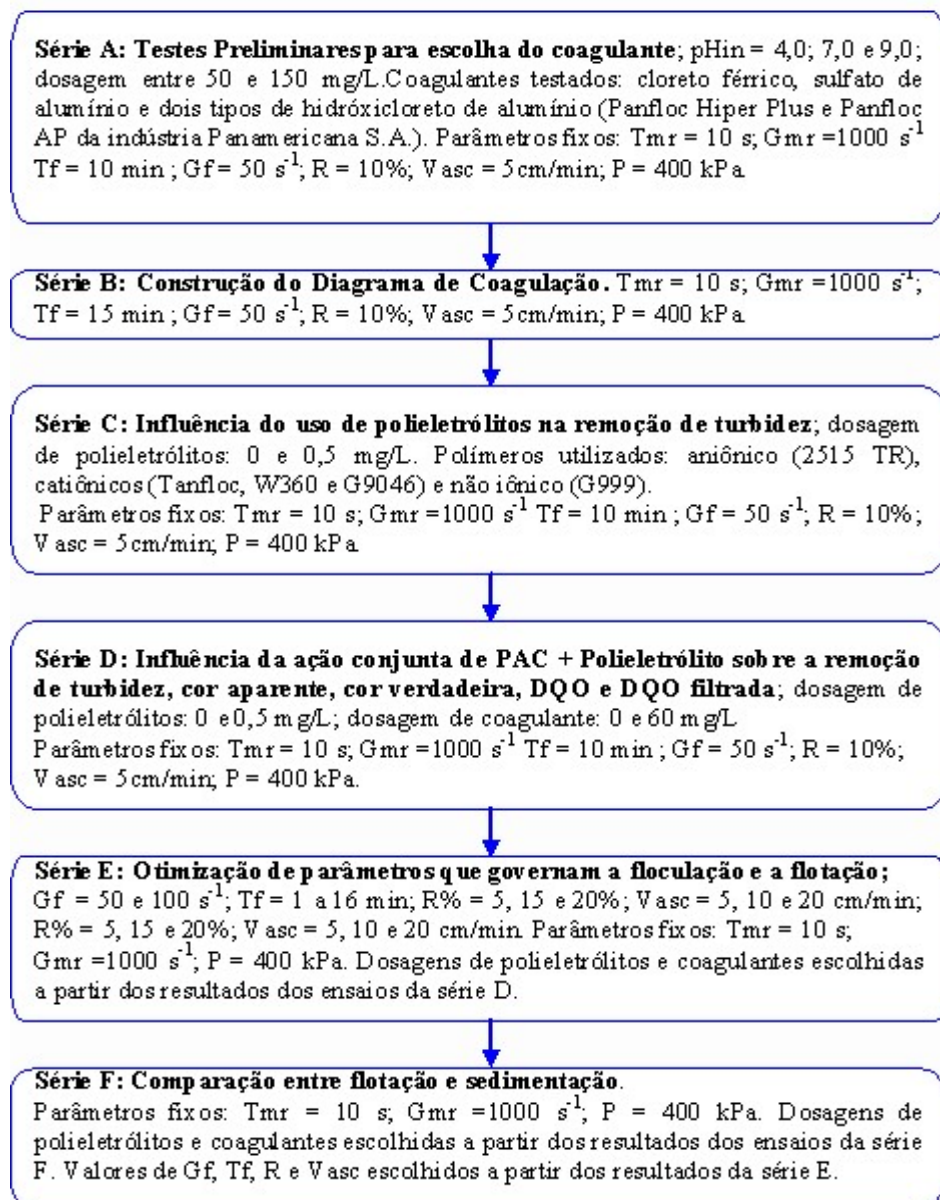
Série B: Construção do Diagrama de Coagulação. T_{mr} = 10 s; G_{mr} = 1000 s⁻¹; T_f = 15 min; G_f = 50 s⁻¹; R = 10%; V_{asc} = 5 cm/min; P = 400 kPa.

Série C: Influência do uso de polieletrólitos na remoção de turbidez; dosagem de polieletrólitos: 0 e 0,5 mg/L. Polímeros utilizados: aniônico (2515 TR), catiônicos (Tanfloc, W360 e G9046) e não iônico (G999). Parâmetros fixos: T_{mr} = 10 s; G_{mr} = 1000 s⁻¹; T_f = 10 min; G_f = 50 s⁻¹; R = 10%; V_{asc} = 5 cm/min; P = 400 kPa.

Série D: Influência da ação conjunta de PAC + Polieletrólito sobre a remoção de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, DQO e DQO filtrada; dosagem de polieletrólitos: 0 e 0,5 mg/L; dosagem de coagulante: 0 e 60 mg/L. Parâmetros fixos: T_{mr} = 10 s; G_{mr} = 1000 s⁻¹; T_f = 10 min; G_f = 50 s⁻¹; R = 10%; V_{asc} = 5 cm/min; P = 400 kPa.

Série E: Otimização de parâmetros que governam a floculação e a flotação; G_f = 50 e 100 s⁻¹; T_f = 1 a 16 min; R% = 5, 15 e 20%; V_{asc} = 5, 10 e 20 cm/min; R% = 5, 15 e 20%; V_{asc} = 5, 10 e 20 cm/min. Parâmetros fixos: T_{mr} = 10 s; G_{mr} = 1000 s⁻¹; P = 400 kPa. Dosagens de polieletrólitos e coagulantes escolhidas a partir dos resultados dos ensaios da série F.

Série F: Comparação entre flotação e sedimentação. Parâmetros fixos: T_{mr} = 10 s; G_{mr} = 1000 s⁻¹; P = 400 kPa. Dosagens de polieletrólitos e coagulantes escolhidas a partir dos resultados dos ensaios da série F. Valores de G_f, T_f, R e V_{asc} escolhidos a partir dos resultados da série E.



pHin = valor de pH anterior a adição de coagulantes;

DQO = Demanda química de oxigênio;

DQO filtrada = Demanda química de oxigênio das amostras que passaram por filtração em papel com poros de abertura igual a 0,45 µm;

Gf = gradiente de velocidade para a floculação;

Tf = período de floculação;

R % = taxa de recirculação;

Vasc = velocidade ascensional

Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos experimentais

Após as primeiras etapas, nas quais avaliou-se a eficiência da remoção de turbidez, ensaios de DQO e DQO filtrada passaram a ser realizados com o intuito de refinar a escolha do polieletrólito ideal, sua dosagem e influência sobre a possível redução da dosagem do coagulante primário. Além disso, testar a eficiência de remoção de poluentes não só suspensos, como dissolvidos.

As análises e as determinações efetuadas para avaliação e controle dos ensaios obedeceram às padronizações de ensaios descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (19ª edição).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Série A: Testes Preliminares para a escolha do coagulante Série A

Embora o cloreto férrico e o sulfato de alumínio tenham apresentados bons resultados de remoção de turbidez, a escolha do coagulante apropriado recaiu sobre o Panfloc Hiper Plus (tipo de PAC), tendo em vista os melhores resultados de remoção de turbidez (de até 95%), sem a necessidade de alteração do valor inicial do pH da amostra bruta, para uma dosagem aplicada de 50 mg/L conforme o verificado na *figura 3* apresentada a seguir. O Panfloc Hiper Plus apresentou uma maior eficiência na remoção da turbidez inicial que o Panfloc AP, para todos os pontos estudados.

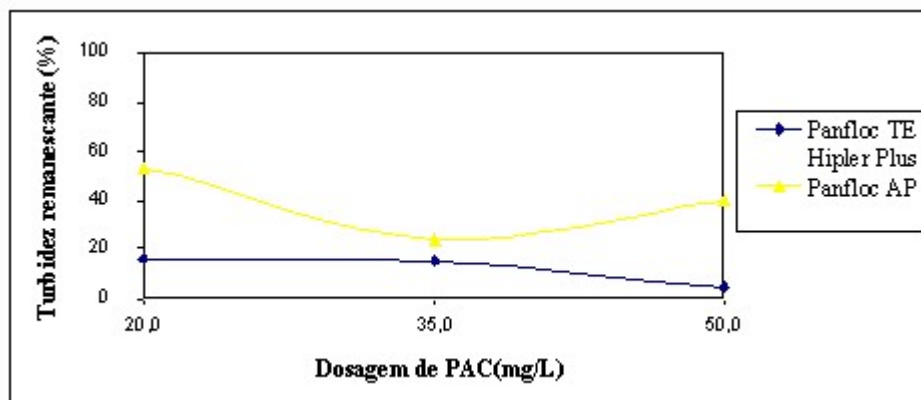


Figura 3 - Comparação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação entre dois tipos de PAC (Panfloc Hiper Plus e Panfloc AP)

As reações de hidrólise dos sais de alumínio e de ferro são determinadas pelo pH, e dependendo do composto formado na hidrólise, maior a eficiência da coagulação. Esta é a principal razão pela qual a performance do sulfato de alumínio e do cloreto férrico como coagulantes varia na medida em que se altera o pH. O decaimento no valor do pH de ambos os coagulantes ocorre porque nos instantes iniciais após a sua adição, manifesta-se uma supersaturação de H_2CO_3 com a conseqüente queda no valor do pH (MENDES, 1989).

Segundo PAVANELLI (2001), o Hidroxicloreto de Alumínio ou PAC é um sal de alumínio prepolimerizado, de fórmula bruta $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ na qual a relação $m/3n \times 100$ representa a basicidade do produto. Em função dessa basicidade, o PAC, durante a hidrólise, libera, em igualdade de dosagem de íons metálicos, uma quantidade de ácido consideravelmente menor do que os coagulantes tradicionais como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Isso provoca uma menor variação do pH do meio tratado.

Série B: Construção do Diagrama de Coagulação

Série b. No Anexo B, apresentam-se as Tabelas b.1 a b.6 Nesta etapa, duas amostras foram testadas, com valores médios de turbidez da água bruta diferentes entre si. As dosagens do PAC do tipo Panfloc Hiper Plus foram variadas entre 10 e 70 mg/L e os valores de pH entre 6,5 e 9,3, com ou sem a introdução de soluções padronizadas ($0,1 \text{ mol/L}^{-1}$) de HCl e NaOH.

Na primeira amostra, a, referentes a uma mesma amostra bruta, com turbidez da água bruta variando entre 51 e 66,5 uT., onde foram testadas as dosagens do PAC do tipo Panfloc Hiper Plus variando entre 10 e 70 mg/L e os valores de pH variando entre 7,83 e 8,13, com ou sem a introdução de soluções padronizadas ($0,1 \text{ mol/L}^{-1}$) de HCl e NaOH.

Na *figura 4* *Figura 5.2* é apresentado o diagrama de coagulação resultante. Pode-se verificar nesta figura,, onde são verificadas duas regiões ótimas de operação da coagulação numa ampla faixa de pH, quais sejam:

- Região 1: dosagem de coagulante variando entre 50 e 70 mg/L; pH de coagulação variando entre 7,3 e 8,8; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 70 mg/L num pH de 7,70, resultando no valor de turbidez residual de 2%.
- Região 2: : dosagem de coagulante variando entre 10 e 30 mg/L; pH de coagulação variando entre 7,9 e 9,1; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 30 mg/L num pH de 8,40, resultando no valor de turbidez residual de 1%.

No mesmo anexo B, as Tabelas b.7 a b.13 foram construídas para a investigação da segunda amostra bruta com turbidez entre 91,7 a 103 uT. Na Figura 5.3 é apresentado o diagrama de coagulação resultante, onde são visualizadas duas regiões ótimas de operação da coagulação numa ampla faixa de pH, quais sejam:

- Região 1: dosagem de coagulante variando entre 45 e 70 mg/L; pH de coagulação variando entre 7,3 e 9,0; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 65 mg/L num pH de 7,30, resultando no valor de turbidez residual de 1%.
- Região 2: dosagem de coagulante variando entre 10 e 35 mg/L; pH de coagulação variando entre 9,0 e 9,2; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 10 mg/L num pH de 9,1, resultando no valor de turbidez residual de 4%.

Merece destaque a observação de que para a amostra com turbidez mais elevada, a região 2 sofre uma redução significativa em termos de faixa operacional de valores de pH além de redução da eficiência de remoção de turbidez. Desta forma, admitiu-se como faixa ótima operacional o interior da região 1, isto é, pH ótimo de coagulação variando entre 7,3 e 8,5; e dosagem ótima de PAC entre 50 a 70 mg/L.

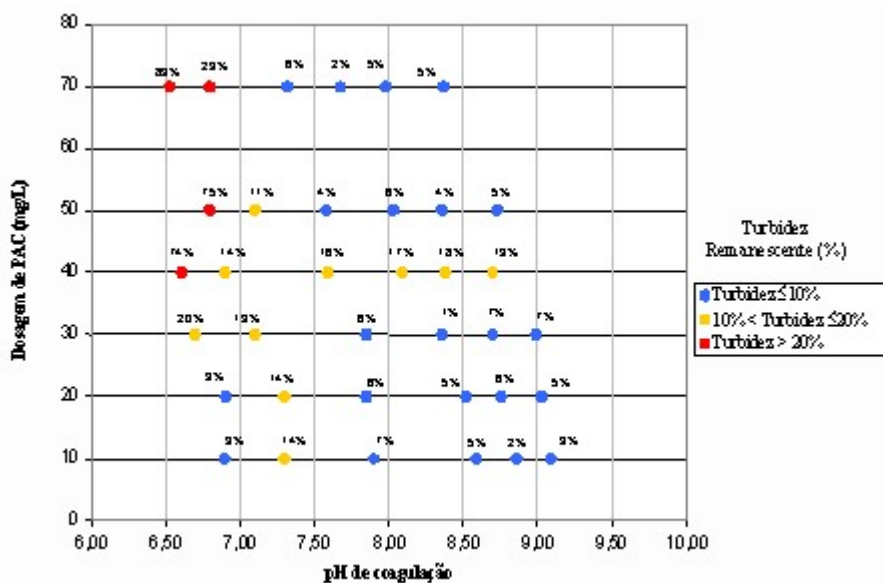


Figura 4 - Diagrama de coagulação para o efluente de lavagem de veículos. Turbidez da água bruta: 51 a 66,5 uT

Na segunda amostra, com turbidez da água bruta variando entre 92 a 103 uT, é apresentado o diagrama de coagulação resultante (figura 5), onde são visualizadas duas regiões ótimas de operação da coagulação numa ampla faixa de pH, quais sejam:

- Região 1: dosagem de coagulante variando entre 45 e 70 mg/L; pH de coagulação variando entre 7,3 e 9,0; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 65 mg/L num pH de 7,30, resultando no valor de turbidez residual de 1%.
- Região 2: dosagem de coagulante variando entre 10 e 35 mg/L; pH de coagulação variando entre 9,0 e 9,2; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 10 mg/L num pH de 9,1, resultando no valor de turbidez residual de 4%.

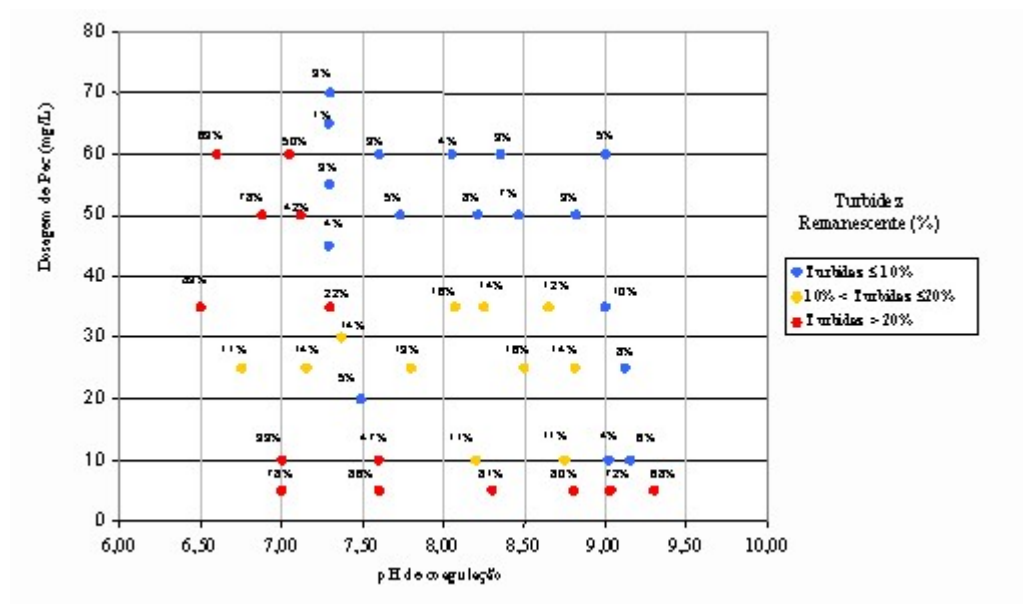


Figura 5 - Diagrama de coagulação para o efluente de lavagem de veículos. Turbidez da água bruta: 92 a 106 uT

Merece destaque a observação de que para a amostra com o valor de turbidez mais elevado, a região 2 sofre uma redução significativa em termos de faixa operacional de valores de pH além de redução da eficiência de remoção de turbidez. Desta forma, admitiu-se como faixa ótima operacional o interior da região 1, isto é, pH ótimo de coagulação variando entre 7,3 e 8,5; e dosagem ótima de PAC entre 50 a 70 mg/L.

Série C: Influência do uso de polieletrólitos na remoção de turbidez

Nesta etapa foram testados diversos polieletrólitos como auxiliares de floculação quanto a remoção de turbidez. Pode-se verificar na *figura 6* que se aplicando dosagens de polieletrólitos variando entre 0 e 0,5 mg/L, observou-se que, apesar da pequena influência, o uso dos produtos G999 e W360, na dosagem de 0,5 mg/L, proporcionou um ganho de eficiência de remoção de turbidez.

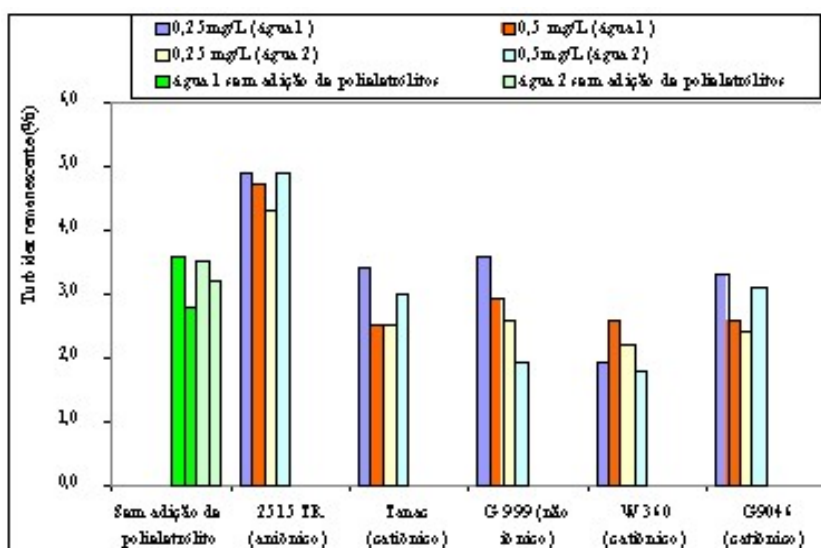


Figura 6- Comparação da eficiência da remoção de turbidez entre os resultados obtidos variando a dosagem e tipo de polieletrólitos

Com base nestes resultados optou-se pela continuidade dos estudos com os polieletrólitos W360 e G999 na série de ensaios seguintes, ampliando-se o espectro das dosagens empregadas e incluindo-se análises para a determinação da sua influência na remoção de compostos causadores de cor e DQO.

Série D: A influência da ação conjunta de PAC + Polieletrólito sobre a remoção de turbidez, cor verdadeira, cor aparente, DQO e DQO filtrada

Sob o aspecto de remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira, os resultados demonstraram que o uso do PAC como único coagulante já proporciona excelentes resultados de remoção para as dosagens de 30 mg/L, com ganhos insignificantes com a elevação desta para 60 mg/L como se pode verificar nas *figuras 7 e 8*. No entanto, a remoção de DQO e DQO filtrada para as dosagens menores, como 30 mg/L foi inferior à remoção encontrada para dosagens de 60 mg/L. Os vários resultados demonstraram uma fina dependência entre a eficiência obtida e a dosagem de coagulante primário, ou seja, com o aumento da dosagem deste (de 30 para 60 mg/L), houve significativo aumento da remoção de substâncias causadoras de DQO, como pode ser constatado na *figura 9*. Uma grande melhoria na remoção de substâncias causadoras de DQO (bruta e filtrada) foi verificada com o emprego dos polieletrólitos, principalmente para o W 360.

Nota-se que o tratamento possibilita a remoção de parte da DQO filtrada, a qual representa as substâncias com partículas dissolvidas, isto é, menores que a porosidade do filtro (0,45 μ m). De posse desses dados, adotaram-se para a continuidade dos estudos o uso do PAC e do W360, nas dosagens de 60,0 e 1,2 mg/L, respectivamente.

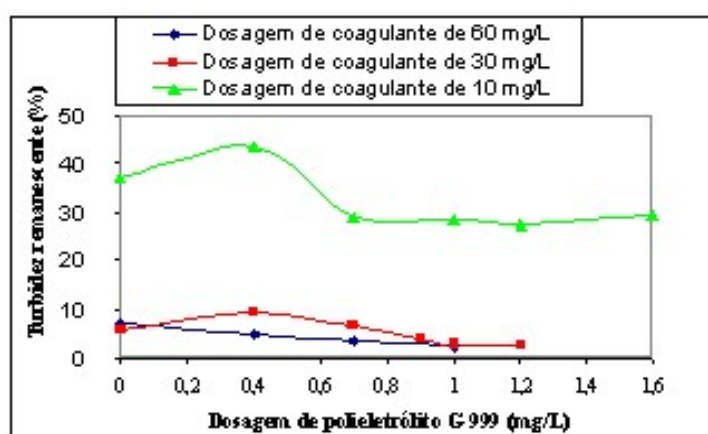


Figura 7- Variação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem de PAC e do polieletrólito G999. Água bruta: 120 uT

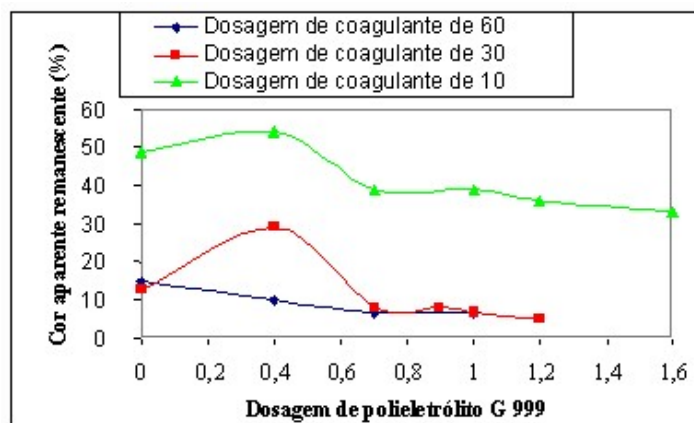


Figura 8- Variação da cor aparente remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem de PAC e do polieletrólito G999. Água bruta: 120 uT

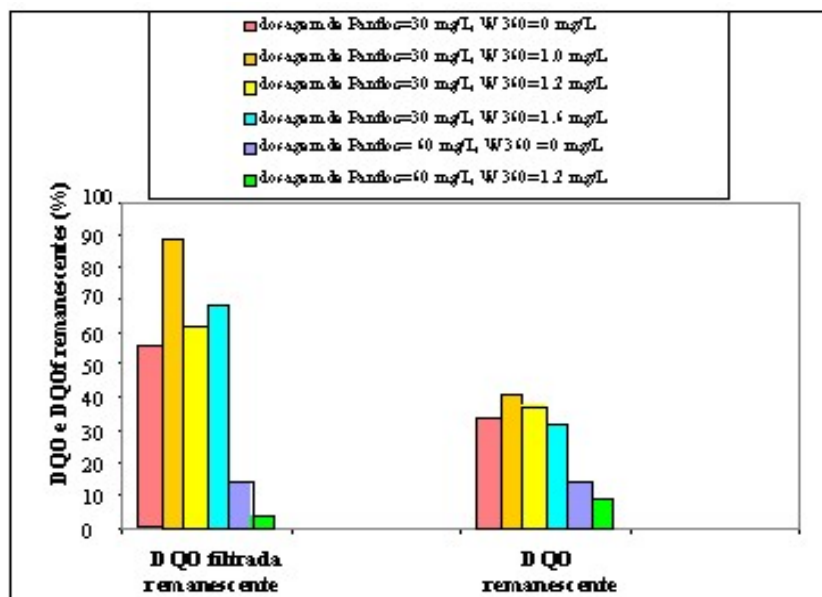


Figura 9: Valores remanescentes de DQO filtrada e DQO para a dosagem de PAC variando entre 30 e 60 mg/L e de polieletrólitos entre 0 e 1,6 mg/l

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA Série E: Otimização de parâmetros que governam a floculação e a flotação

Devido à grande capacidade de tamponamento das águas que abastecem a estação, os diagramas de coagulação do sulfato de alumínio e de cloreto férrico ficaram restritos a uma faixa de pH de coagulação, praticamente inalterado, na região da varredura, pois a adição de coagulante, com ou sem acidulante, não promoveu diminuição do pH da água bruta. Em vista disso, não se julgou necessário a apresentação dos diagramas. Na tabela 2 estão contidos as melhores dosagens, o pH apropriado para coagulação e a melhor remoção de turbidez para cada coagulante primário em cada tipo de água.

Foram otimizados os parâmetros de floculação, sendo que, para o presente estudo os melhores valores foram avaliados em termos de turbidez, cor aparente. Pode ser constatado nas figuras 10, 11 e 12 que para um gradiente de velocidade igual a 50 s^{-1} , o período de floculação ótimo resultou em 13 minutos. Por outro lado, para um gradiente de velocidade de 100 s^{-1} , o período de floculação ótimo correspondente foi igual a 10 minutos, fato que comprova que, aumentando-se a intensidade de agitação, o período necessário para a formação dos flocos deve diminuir, sob risco de iniciar a sua ruptura em períodos superiores ao valor ótimo.

A escolha e fixação dos parâmetros que governam a floculação, recaíram sobre os valores de $Gf = 50 \text{ s}^{-1}$ e de $Tf = 13$ minutos, em decorrência de melhores eficiências de remoção de todos os parâmetros avaliados, em comparação do outro par de valores ótimos ($Gf = 100 \text{ s}^{-1}$ e $Tf = 10$ minutos).

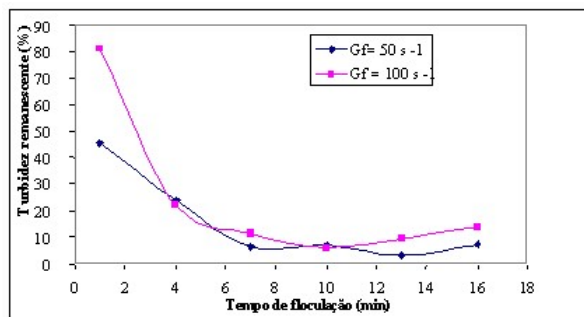


Figura 10 - Valores remanescentes de turbidez em função do tempo de floculação para os gradientes de velocidade de 50 s^{-1} e 100 s^{-1}

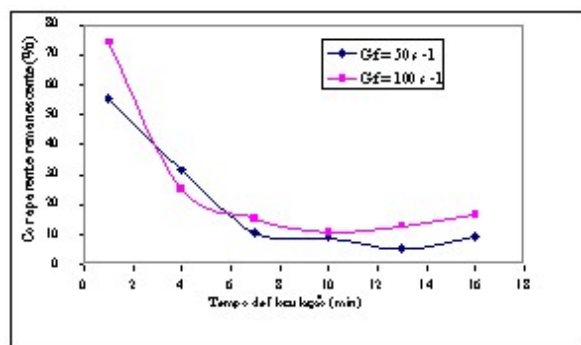


Figura 11 - Valores remanescentes de cor aparente em função do tempo de floculação para os gradientes de velocidade de 50 e 100 s^{-1}

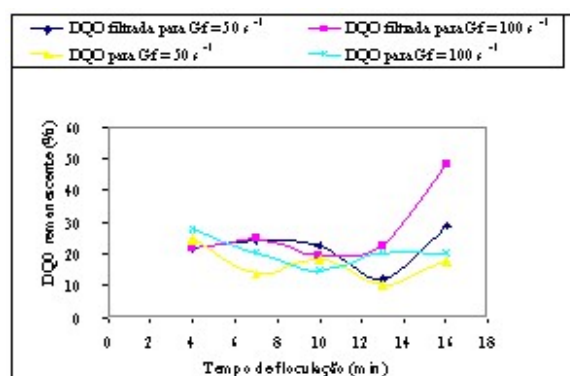


Figura 12 - Valores remanescentes de DQO e DQO filtrada em função do tempo de floculação para os gradientes de velocidade de 50 e 100 s^{-1}

Quanto aos parâmetros de flotação, as eficiências de remoção de turbidez, cor aparente, DQO são maximizadas quando se emprega uma taxa de escoamento superficial limitada a $72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e vazões de recirculação superiores avariando entre 5 % e 20 %, como pode ser visualizado nas figuras 13, 14 e 15.

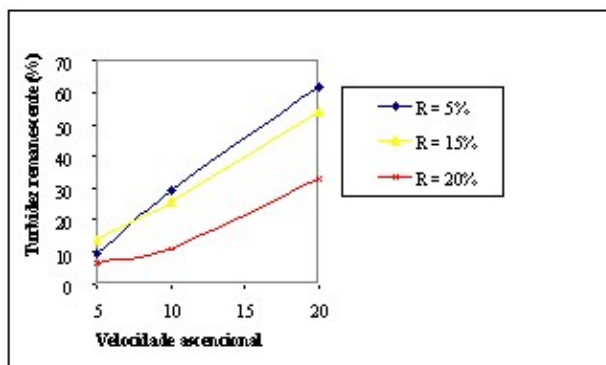


Figura 13 - Valores remanescentes de turbidez em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5 a 20%

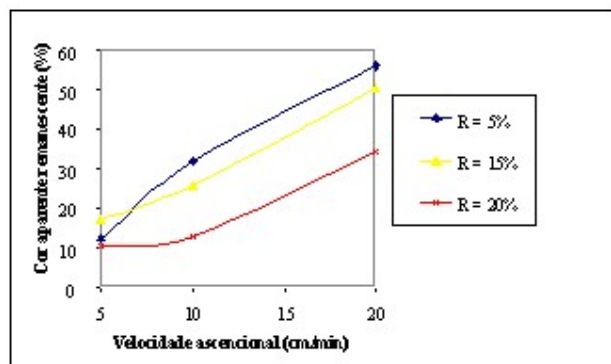


Figura 13 - Valores remanescentes de cor aparente em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5 a 20%

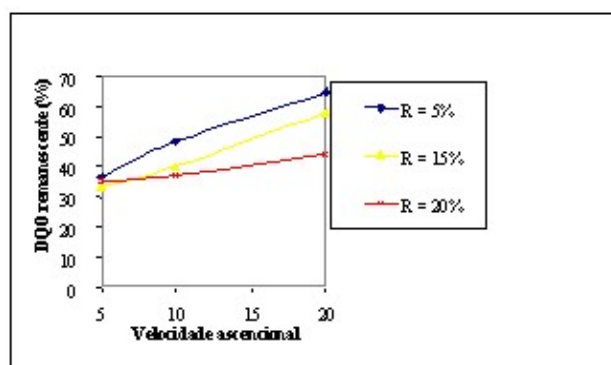


Figura 13 - Valores remanescentes de DQO em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5 a 20%

A observação das figuras evidencia a grande influência da velocidade ascensional aplicada, cuja diminuição para valores de 5 cm/min, praticamente anula a influência da taxa de recirculação. Desta forma, a fixação de uma taxa de escoamento superficial, adotada para concepção de um eventual flotor a ser construído em escala real, igual a 72 m³/m².dia (correspondente a uma Vasc = 5 cm/min), terá seu desempenho,

praticamente independente da taxa de recirculação aplicada entre os limites de 5 e 20 % investigados.

Evidentemente que a adoção de 5 ou 20 %, influirá de forma incisiva no tamanho da câmara de saturação, alterando seu volume em quatro vezes, além de influir sobre as características do sistema de recalque (bombas e tubulações) e injeção de água nessa câmara.

Essa relativa independência da eficiência quanto à taxa de recirculação empregada, também pode ser explicada pelo fato de que o efluente em estudo manifesta uma pequena concentração de sólidos (ver série F), o que evidencia uma necessidade pequena de ar para manter a relação A/S dentro dos limites necessários, havendo desperdício de ar para taxas de recirculação superiores a 5%.

Série F: Comparação entre a flotação e a sedimentação

Na *tabela 1*, a seguir, são apresentados os resultados da última etapa com o objetivo de comparar os desempenhos da clarificação frente à flotação por ar dissolvido e à decantação, além de apresentar resultados da caracterização das amostras brutas e clarificadas quanto aos Sólidos (série completa), Cloretos e Óleos e Graxas, parâmetros que até então, não haviam sido analisados.

Verificou-se que, submetendo ambos os tipos de clarificação às mesmas condições de coagulação e floculação, o desempenho da FAD foi muito superior que o manifestado pela decantação, mesmo considerando-se que para a FAD, simulou-se uma taxa de escoamento superficial de 72 m³/m².dia e, para a decantação, uma taxa de escoamento superficial de 28,8 m³/m².dia, o que proporcionaria neste último, uma demanda de área 2,5 vezes superior.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de coagulação, floculação seguidos da flotação ou sedimentação e caracterização da água bruta e clarificada

Data: 25/04/03	COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus : Dosagem: 60mg/L; POLIELETRÓLITO: W360: Dosagem: 1,2 mg/L Polieletrólito: W360 Dosagem: 1,2 mg/L				
Mistura Rápida	Floculação	Flotação		Sedimentação	
Tmr = 10 s	Tf = 13 min	Gd Tsat = 10min	R = 5 %	Tsed = 5 min	
Gmr = 1000 s ⁻¹	Gf = 50 s ⁻¹	P = 400kPa	Vasc = 5cm/min	Vsed = 2 cm/min	
Parâmetro	Amostra Bruta	Amostra flotada	Eficiência de remoção (%)	Amostra sedimentada	Eficiência de remoção (%)
pH	7,9	-	-	-	-
pH coagulação	-	7,6	-	7,6	-
Temperatura (°C)	22	22	-	22	-
Condutividade (µs/cm)	297	292	-	291	-
Turbidez (uT)	145,0	5,3	96	10,7	93
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	0,9	-	-	-	-
DQO (mg/L)	97,5	39,5	59	39,2	60
ST (mg/L)	427,2	149,9	65	270,2	37
STF (mg/L)	230,4	82,5	64	92,4	60
STV (mg/L)	196,8	67,4	66	177,8	10
SST (mg/L)	160,5	30,8	81	86,8	46
SSF (mg/L)	128,6	21,5	83	74,3	42
SSV (mg/L)	31,9	9,3	71	12,5	61
SDT (mg/L)	266,7	119,1	55	183,4	31
SDF (mg/L)	101,8	61,0	40	18,1	82
SDV (mg/L)	164,9	58,0	65	165,3	0
Cloretos (mg Cl ⁻ /L)	51,8	55,9			
Óleos e Graxas (mg/L)	93,0	37,0	60		

É destacável o fato que, dentre os sólidos totais (ST) presentes na amostra bruta, 37,6 %, são representados pelos sólidos suspensos (SST) e 62,4 %, pelos sólidos dissolvidos (SDT). Sob esse aspecto, é interessante observar que a etapa de clarificação para esse tipo de efluente, além da esperada ação sobre a remoção dos sólidos suspensos, também deve agir na remoção de sólidos dissolvidos, o que, no caso foi comprovado com o uso da FAD, obtendo-se uma eficiência de 55 % sobre estes.

A caracterização das amostras quanto a cloretos demonstrou que, com o uso dos produtos químicos "Hidroxiclreto de Alumínio - PAC" e "W360", houve um pequeno aumento em sua concentração (cerca de 8 %), o que, parece, não ser suficiente para impedir a reciclagem do efluente tratado em questão.

As análises de óleos e graxas evidenciaram uma remoção de 60 % pelo processo da FAD, similar ao obtido na remoção dos sólidos totais voláteis (STV), que foi de, aproximadamente, 66 %, que em grande parte eram representados pelos sólidos dissolvidos voláteis (SDV). Tal fato comprova que a coagulação + floculação + flotação por ar dissolvido constitui-se em um sistema com grande potencial de aplicação ao tratamento desse tipo de efluente.

CONCLUSÕES

O emprego da coagulação + floculação + flotação por ar dissolvido, constitui-se em sistema de grande potencialidade para o tratamento de efluentes de lavadores de veículos, objetivando-se seu lançamento na rede pública de esgotos sanitários ou para sua reciclagem.

A etapa de coagulação para esse tipo de efluente é otimizada quando se utiliza o "Hidroxiclreto de Alumínio", também conhecido como PAC, particularmente, o "Panfloc Hiper Plus", como coagulante primário, em dosagens de 50 a 70 mg/L, para as condições e amostras brutas investigadas neste estudo.

A faixa de valores do pH de coagulação mais apropriada, manifestou-se entre 7,3 e 8,5, conforme demonstraram os diagramas de coagulação construídos, os quais são naturalmente obtidos, sem a necessidade de utilização de acidificantes e/ou basificantes, desde que o coagulante primário seja o PAC.

O emprego de polieletrólitos catiônicos, particularmente do W360, é útil como auxiliar de floculação, principalmente sob o aspecto de ganhos na eficiência de remoção de substâncias causadoras de DQO total e filtrada, sem, contudo, permitir a redução de dosagens do coagulante primário.

A etapa de floculação constitui-se como fundamental à eficiência global do processo, devendo ser imposto um gradiente de velocidade médio variando entre 50 e 100 s⁻¹, durante um período compreendido entre 7 e 13 minutos. Para o presente estudo os melhores valores foram obtidos com o emprego de 50 s⁻¹ e 13 minutos, respectivamente.

Quanto aos parâmetros de projeto da etapa de flotação por ar dissolvido, as eficiências de remoção de turbidez, cor aparente, DQO total e filtrada são maximizadas quando se emprega uma taxa de escoamento superficial limitada a 72 m³/m².dia (correspondente a uma velocidade ascensional crítica de 5 cm/minuto), e vazões de recirculação suíguas ou superiores a 5 %, limitadas à 15%, desde que, utilizando-se de água saturada à temperatura ambiente (20 a 28 °C), por um período de saturação de 10 minutos e, submetida a uma pressão de 400 kPa.

Submetendo-se o efluente gerado em lavadores de veículos às mesmas condições de coagulação e floculação, o desempenho da FAD foi superior ao manifestado pela decantação, mesmo empregando uma taxa de escoamento superficial de 72 m³/m².dia e 28,8 m³/m².dia, respectivamente, para a flotação e sedimentação, o que proporcionaria neste último, uma demanda de área 2,5 vezes superior.

No momento, a viabilidade do uso da tecnologia proposta nesse estudo para a reciclagem de efluentes gerados na lavagem de veículos será testada em uma unidade protótipo de fluxo contínuo em conjunto com um biofiltro aerado submerso, quando efetivamente poderá se visualizar a eventual necessidade de inclusão de etapas complementares, tais como: filtração rápida em areia; e/ou desinfecção. Será verificada a possibilidade de redução da dosagem de coagulante pela introdução do tratamento biológico.

As concentrações de coliformes, prejudiciais à saúde das pessoas que eventualmente entrem em contato com a água reciclada, assim como a concentração de sais, a qual, após um certo limite pode provocar a corrosão dos veículos, devem ser monitorados durante os ensaios de recirculação no protótipo de fluxo contínuo. Deste modo será possível analisar como estes poluentes tendem a se concentrar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-SHAMRANI, A.A., JAMES, A., XIAO, H. Destabilization of oil-water emulsions and separation by dissolved air flotation. . Water Research., v.36, p.1503-1512, 2002.
2. CENTURIONE FILHO, P. L. Desenvolvimento e operação de uma instalação de flotação de bancada para águas de abastecimento. São Carlos, 2002. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos -Universidade de São Paulo 2002.
3. JÖNSSON, C., JÖNSSON, A.S. The influence of degreasing agents used at car washes on the performance of ultrafiltration membranes. Desalination, 100: 115-123, 1995.
4. LACERDA, R.S., MARQUES, S.F.S, BRANDÃO, C.C.S. A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido de águas de baixa turbidez e com presença de algas. XIX CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1998.
5. LEPPINEN, D.M. A kinetic model of dissolved air flotation including the effects of interparticle forces. J. Water

Supply: Res. Technol-Aqua, v.49, n.5, p.258-259,2000.

6. MENDES, C.G.N. Estudo da coagulação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis. São Carlos, 1989. Tese de doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1989.

7. US.EPA. Development Document for Effluent Limitations guidelines and standards for the auto and other laundries point source category. EPA 820-B-80-100, Office of Water and Waste Management, Washington, D.C., 1980.

8. US.EPA. Technical Development Document for Proposed Pretreatment Standards Existing and New Sources for the Industrial Laundries Point of Source. EPA 821-R-97-007, Washington, D.C., 1997.