

II-543 - PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR ANAERÓBIO DE LEITO EXPANSÍVEL POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO EM ESCALA DE BANCADA SEGUIDO DE FILTRAÇÃO EM ESCALA DE BANCADA

André Luiz de Oliveira⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto da Universidade Federal de Uberlândia (FECIV-UFU)

Marco Antônio Penalva Reali⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Doutor da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP)

Endereço⁽¹⁾: Avenida Lazara Alves Ferreira, 89/203 – Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP: 38408-092 - Brasil - Tel: (34) 3217-1890 - e-mail: andreoliveira@feciv.ufu.br

RESUMO

Este trabalho compreende a avaliação da flotação por ar dissolvido seguida de filtração rápida em equipamento de bancada no tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expansível. Foram testadas diversas dosagens do coagulante alterando-se para diversas configurações o tempo de floculação, gradiente de floculação e taxa de recirculação. Para as situações ótimas encontradas foram testados três tipos de filtros constituídos de areia com granulometrias distintas. O sistema apresentou resultados satisfatórios em termos de redução de turbidez, cor e Ab_{254nm} para dosagens de cloreto férrico entre 40 a 80 mg/L na maior parte dos ensaios. De maneira geral, mesmo considerando-se a grande eficiência do sistema de flotação por ar dissolvido pode-se dizer que a etapa de filtração conduziu a resultados muito satisfatórios para os filtros constituídos por areia de diferentes granulometrias.

PALAVRAS-CHAVE: Reator anaeróbio de leito expansível, flotação por ar dissolvido, filtração em areia.

INTRODUÇÃO

O processo de tratamento anaeróbio de esgoto sanitário encontra-se estabelecido no Brasil, em virtude dos grandes avanços alcançados no projeto e operação destas unidades e principalmente das condições ambientais favoráveis à aplicação desta tecnologia em nosso país. Ainda assim, os reatores anaeróbios, na maioria dos casos, não produzem efluente final com qualidade compatível aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental o que torna imprescindível a adequação do efluente de forma a satisfazer tais exigências. Neste sentido, têm-se adotado sistemas combinados de tratamento nos quais são exploradas as vantagens de cada unidade, é o caso, por exemplo, de ETEs que utilizam processos físico-químicos como unidades complementares.

A flotação por ar dissolvido por ser processo de alta taxa, com grande eficiência na remoção das partículas suspensas e flocos produzidos pela coagulação biológica e/ou química de águas residuárias (geralmente > 90% de remoção) é atualmente muito utilizada por apresentar grande potencial para o pós-tratamento deste tipo de efluente no qual a concentração de sólidos suspensos e partículas coloidais é ainda considerável.

O sistema de flotação por ar dissolvido (FAD) é composto basicamente de duas etapas: coagulação/floculação, responsável pela desestabilização das partículas e formação dos flocos, e flotação propriamente dita, que envolve a geração de micro bolhas de ar, a agregação das micro bolhas de ar com os flocos formados e a ascensão do agregado até superfície. Dentre as diversas modalidades de flotação esta técnica é a mais utilizada na área de saneamento, com eficiência comprovada no tratamento de água de abastecimento e no tratamento de efluentes, principalmente secundários, com vários trabalhos já publicados que corroboram com sua aplicação também para este fim.

A quantidade de ar fornecida à câmara de flotação pode ser variada com a alteração da fração de recirculação ou da pressão de saturação ou de ambas. Entretanto estudos conduzidos por Zabel (1984) demonstraram que a qualidade final da água tratada sofre influência apenas da quantidade total de ar independente dos valores dos pares pressão/recirculação. Reali (1994) enfatiza a opção de câmaras de saturação mais eficientes em detrimento da utilização de taxas de recirculação elevadas para obtenção da mesma quantidade total de ar fornecida ao processo. De fato, dependendo do tipo de efluente, como destaca Penetra (2003), as taxas de recirculação podem alcançar valores muito elevados, cerca de 50%, o que em linhas gerais significa maior consumo de energia, instalações mais robustas, maior investimento.

A Flotação por Ar Dissolvido aplicada ao tratamento de esgoto sanitário é reconhecidamente um processo de alta taxa que conduz a resultados satisfatórios em termos de remoção de matéria orgânica, entretanto, ainda assim, o efluente final pode não apresentar todos os parâmetros enquadrados para determinado tipo de uso ou lançamento final. Nestes casos o sistema completo deverá prover de um sistema de polimento final. Uma alternativa é a filtração em areia que retém no sistema partículas que porventura atravessaram as etapas precedentes.

A filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e microrganismos presentes na água que escoam através de um meio poroso. Em geral a filtração é o processo final de uma estação de tratamento de água, antes da desinfecção e, atualmente, em configurações mais modernas, compõe parte final em sistema de tratamento de esgoto, como pós-tratamento, assim como descrito anteriormente. No entanto, para o pós-tratamento de efluentes, pode-se intuir que a carreira de filtração é na maioria dos casos inferior às experimentadas no tratamento de água de abastecimento e dependente principalmente da carga hidráulica máxima disponível no filtro, devido aos requisitos menos restritivos de qualidade da água produzida dependendo da aplicação final do efluente tratado.

A filtração e posterior desinfecção de efluentes secundários são técnicas cada vez mais aplicadas em estações de tratamento de esgoto com vistas a reuso, principalmente em regiões com escassez de água. De acordo com Cikurel et al (1996) a água residuária após passar pelo tratamento terciário, com devida remoção de turbidez, cor e sólidos suspensos e posterior desinfecção, pode ser usada na agricultura, em torres de resfriamento, limpeza de pátios, rega, além de outras aplicações. Um sistema convencional com tratamento terciário físico-químico apresenta geralmente, após as unidades de tratamento primário e secundário, coagulação química seguida de floculação, sedimentação/flotação, filtração e desinfecção, como ocorre nos sistemas convencionais de tratamento de água para abastecimento.

A experiência no estudo e/ou projeto de plantas de tratamento terciário com etapa de filtração é crescente no mundo inteiro na medida em que os recursos tornam-se cada vez mais escassos e as legislações cada vez mais restritivas, no entanto, os parâmetros de controle da filtração para águas residuárias não são tão bem conhecidos como no caso da filtração de água de abastecimento. Entretanto, de acordo com Ghosh *et al.* (1994), já que o pré-tratamento (coagulação/floculação) desempenha o papel principal na filtração, os diagramas de coagulação desenvolvidos para água de abastecimento podem ser usados como ferramenta importante na previsão das condições ótimas de desestabilização das partículas e efetiva filtração. Tais conceitos de coagulação, generalizados para água de abastecimento, podem também ser usados para se prever a dosagem de produtos químicos na coagulação/floculação e eficiente filtração de água residuária.

Hamoda *et al.* (2004) ressalta também que embora a filtração em meio granular seja prática comum há muito tempo no tratamento de água de abastecimento, os critérios de projeto de filtros para água residuária não podem ser derivados diretamente da experiência adquirida nestes sistemas. Os filtros nestes casos são operados a taxas de carregamento de sólidos praticamente constantes o que certamente não ocorre no tratamento de esgoto. Além disso, a matéria particulada encontrada no esgoto é totalmente diferente da encontrada em águas de abastecimento e apresenta estrutura “pegajosa” o que dificulta lavagem dos filtros. Pondera ainda que a natureza da matéria orgânica não é consistente e varia de acordo com a unidade de tratamento precedente.

De maneira geral, Metcalf & Eddy (1991) sugerem que para eficiente etapa de filtração, é necessário que o tratamento químico/físico-químico precedente seja capaz de produzir efluente com concentração de SST menor que 5 mg/L e concentração de DBO menor que 5 mg/L. Neste sentido, este trabalho procura o estabelecimento de condições adequadas de coagulação (gradiente e tempo de mistura), floculação (tempo e gradiente de floculação) e flotação por ar dissolvido (taxa de recirculação) e filtração (tipo de leito filtrante) para obtenção

de melhores resultados observados em termos de remoção de cor e turbidez do efluente tratado, no caso, efluente de reator anaeróbico de leito expansível (RALEX).

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi estudado o pós-tratamento físico-químico de efluente de reator anaeróbico de leito expansível constituído por flotação por ar dissolvido e filtração em areia.

O reator anaeróbico de leito expansível utilizado neste trabalho tinha volume útil de 32 m³ dividido em câmara de reação, destinada à degradação do material orgânico, formação do biofilme e produção do biogás; e câmara de sedimentação, responsável pela separação das biopartículas e decantação do efluente. O leito do reator (material suporte) era composto por pneu triturado com “diâmetro” médio (diâmetro equivalente) de 4,3mm e massa específica média de 1,14g/cm³, conforme Niciura (2005). Tinha capacidade de tratamento de 5,0 a 20,0 m³/h de esgoto sanitário proveniente de interceptor da rede pública da cidade que atravessava o campus da USP em São Carlos. A Figura 1 ilustra em detalhes o Reator Anaeróbico de Leito Expandido.

O equipamento flotatestes que recebia o efluente após mistura rápida no equipamento de bancada Jar Test, mostrado na Figura 2, foi desenvolvido no Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP. Tal equipamento era composto por quatro colunas cilíndricas de acrílico com capacidade útil de 2,5 litros, independentes entre si e interligadas a uma câmara de saturação. Cada coluna possuía agitador próprio (tipo eixo vertical, paletas paralelas ao eixo, dois braços e uma paleta por braço) impulsionado por meio de conjunto moto-redutor e ligado a regulador de rotação para controle do gradiente de velocidade da floculação. A câmara de saturação, na qual eram interligadas as colunas de flotação, foi construída com tubo de acrílico com volume útil de 7,8 litros. Para sua operação e controle, a câmara de saturação possuía manômetro, válvula de segurança, entrada e saída de ar comprimido e entrada de água proveniente da rede de abastecimento público. O ar comprimido era fornecido por compressor de ar. As câmaras de flotação eram dotadas de pequenos orifícios existentes ao longo da altura das colunas para coleta de amostras.

A partir da caracterização das amostras coletadas foram construídas as “curvas de flotação”, conforme método proposto por Reali (1991).

Os filtros acoplados ao flotatestes, mostrados na Figura 2, foram construídos em tubo de PVC DN 25 e altura total de 450 mm, baseado em Di Bernardo *et al.* (2001).

A espessura do leito filtrante foi fixada em 150 mm o que proporcionava 300 mm de carga hidráulica acima do topo do leito conforme disponibilidade física da instalação. A taxa de aplicação superficial era regulada no início da filtração por meio de abertura/fechamento de registro na mangueira de acesso aos filtros e ao final era medida novamente para o cálculo da taxa média de aplicação superficial. O controle da taxa de filtração não era preciso uma vez que a altura da lâmina líquida no flotatestes variava com o tempo e conseqüentemente a vazão de alimentação dos filtros.

Foram testados leitos filtrantes compostos de diferentes tipos de areia, ou seja, areia com tamanho dos grãos de 0,42 a 0,59 mm, de 0,59 a 0,71 mm, de 0,71 a 0,84 mm, e de 0,84 a 1,0 mm.

Os resultados foram avaliados considerando-se os desempenhos dos filtros na redução de cor e absorbância a 254 nm (Abs_{254nm}) e, principalmente, de turbidez. Para a realização dos ensaios os filtros eram alimentados com água flotada após o tempo necessário para ocorrência da menor taxa de flotação estudada, ou seja, o registro para acesso da água flotada aos filtros era aberto logo após a coleta da amostra com velocidade de flotação de 7,5 cm/min.

Os filtros eram operados à taxa inicial de 14 cm/min e ao final à taxa de 12,5 cm/min devido à diminuição na carga hidráulica disponível (conforme descrito anteriormente). A coleta de amostra nos filtros era realizada depois de decorridos 10 minutos do início da alimentação dos mesmos para garantir que toda a água destilada contida nas unidades de filtração, usada para lavagem dos filtros, fosse escoada.



Figura 1-Fotos do Reator Anaeróbio de Leito Expandido utilizado.

LEGENDA: ponto de entrada do esgoto bruto, bomba helicoidal e válvula de retenção (a), corpo do reator (b), quadro elétrico de comando do reator (c)



Figura 2–Fotografia do Equipamento de Flotatestes desenvolvido no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos – SP e unidades de filtração em areia acopladas às câmaras de floculação/flotação.

A Figura 3 ilustra a sequência de ensaios conduzidos.

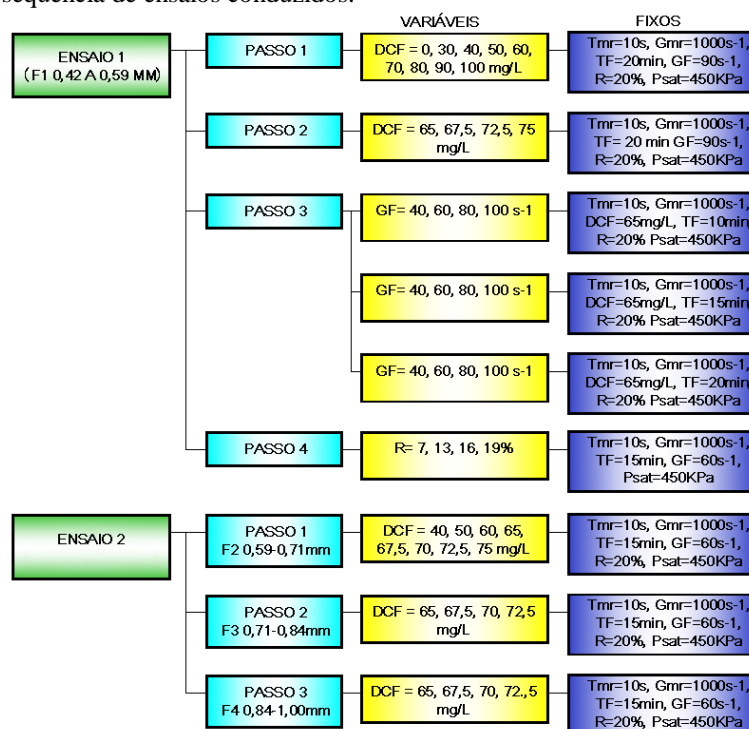


Figura 3 - Resumo de todos os ensaios realizados com a unidade de flotação por ar dissolvido seguida de filtros em escala de bancada

As dosagens de cloreto férrico de 30, 40, 50, 60, 65, 67,5, 70, 72,5, 75, 80, 90 e 100 mg/L correspondem, respectivamente, a dosagens de 6,2, 8,3, 10,3, 12,4, 13,4, 13,9, 14,5, 15,0, 15,5, 16,5, 18,6 e 20,7 mg/L de Fe^{3+} .

RESULTADOS

Para todos os ensaios realizados foi utilizado tempo médio de saturação, na câmara de saturação, de 5 minutos.

Inicialmente, conforme ilustra a Figura 3 foi utilizado como leito filtrante dos filtros de bancada, dispostos logo após as colunas de flotação do flotatest, areia com tamanho dos grãos entre 0,42 e 0,59 mm conforme sequência de ensaios descrita. Os resultados obtidos são mostrados nas Figuras 4 e 5. Além dos dados relativos ao efluente do Reator Anaeróbio de Leito Expansível (RALEX) flotado são também mostrados nas figuras supracitadas, valores de turbidez, cor e $\text{Abs}_{254\text{nm}}$ relativos ao EB e ao efluente do RALEX de todas as amostras ensaiadas.

A Figura 4 representa os resultados obtidos para a turbidez do efluente do RALEX flotado coletado a velocidades de flotação de 7,5, 12,5, 17,5, 22,5 e 27,5 cm/min.

Pode-se observar que a partir do passo 1 os valores medidos para a turbidez remanescente do efluente flotado permaneceram praticamente inalterados com aplicação de DCF acima de 70 mg/L. Portanto, no passo 2 do ensaio, foram investigadas DCF próximas à dosagem de 70 mg/L (65, 67,5, 70 e 72,5 mg/L) para verificação da DCF que possibilitasse a obtenção dos melhores resultados em termos de turbidez remanescente. Verificou-se que os melhores resultados foram alcançados para DCF de 65 mg/L sendo tal dosagem escolhida para os experimentos seguintes (passos 3 e 4). Pode-se verificar, no entanto, da análise dos resultados dos passos 1 e 2 que dosagens de cloreto férrico da ordem de 50 mg/L já forneceram resultados significativos, com frações remanescentes de turbidez próximas a 5% considerando-se amostras coletadas a V_F (velocidade de flotação) igual a 17,5 cm/min.

No passo 3 foi mantida a DCF de 65 mg/L e variou-se o T_F e G_F em três combinações: $T_F = 10$ min e $G_F = 40, 60, 80$ e 100 s^{-1} ; $T_F = 15$ min e $G_F = 40, 60, 80$ e 100 s^{-1} e $T_F = 20$ min e $G_F = 40, 60, 80$ e 100 s^{-1} . Considerando-se a velocidade de flotação de 17,5 cm/min foi observado que os melhores resultados de

remoção de turbidez foram alcançados utilizando-se o $T_F = 15$ min e $G_F = 60$ s⁻¹. Portanto, esses valores foram adotados como constantes no passo posterior.

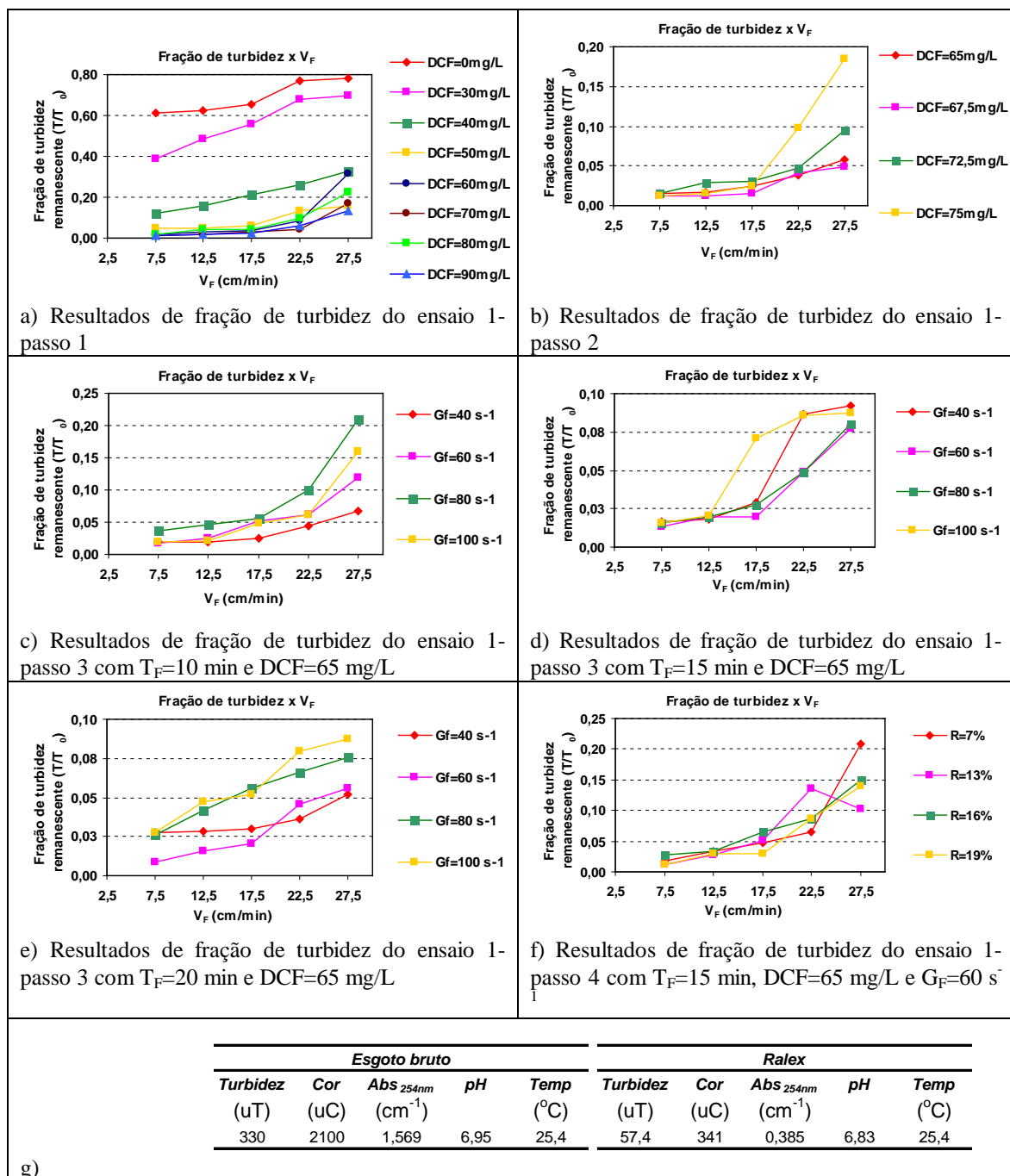


Figura 4 - Fração de turbidez do efluente flotado do RALEX de amostra coletadas a velocidades de flotação de 7,5, 12,5, 17,5, 22,5 e 27,5 cm/min.

Os ensaios foram conduzidos com $P_{sat} = 450$ kPa, $T_{sat} = 10$ min, $T_{mr} = 10$ s, $G_{mr} = 1000$ s⁻¹.

Por último (passo 4) foi avaliada a quantidade de ar fornecida ao processo de flotação por meio da variação da porcentagem, em volume, da taxa de recirculação. Como esperado, os melhores valores de remoção de turbidez foram alcançados com a utilização da taxa de recirculação mais elevada, ou seja, 19%. No entanto, bons resultados foram alcançados também com a utilização das outras taxas avaliadas. Para velocidade de flotação de 17,5 cm/min todas as amostras coletadas apresentaram fração remanescente de turbidez menor que 7% (residuais < 3 uT), o que representa condições adequadas para bom funcionamento da etapa de filtração

seqüente. A partir desses resultados, pode-se inferir que para tratamento de efluente do RALEX com baixo valor de turbidez são requeridos DCF entre 40 mg/L e 60 mg/L, T_F próximos a 15 min, G_F entre 60 e 80 s^{-1} e taxas de recirculação da ordem de 10%.

A Figura 5 ilustra os gráficos construídos a partir dos resultados de turbidez, cor e absorvância do efluente do RALEX, do efluente do RALEX flotado coletado à velocidade de flotação de 7,5 cm/min, e do filtrado em filtro de areia em escala de bancada com tamanho dos grãos variando entre 0,42 mm e 0,59 mm, para o ensaio 1 - passo 4 no qual os parâmetros mais adequados foram utilizados, extraídos dos passos anteriores.

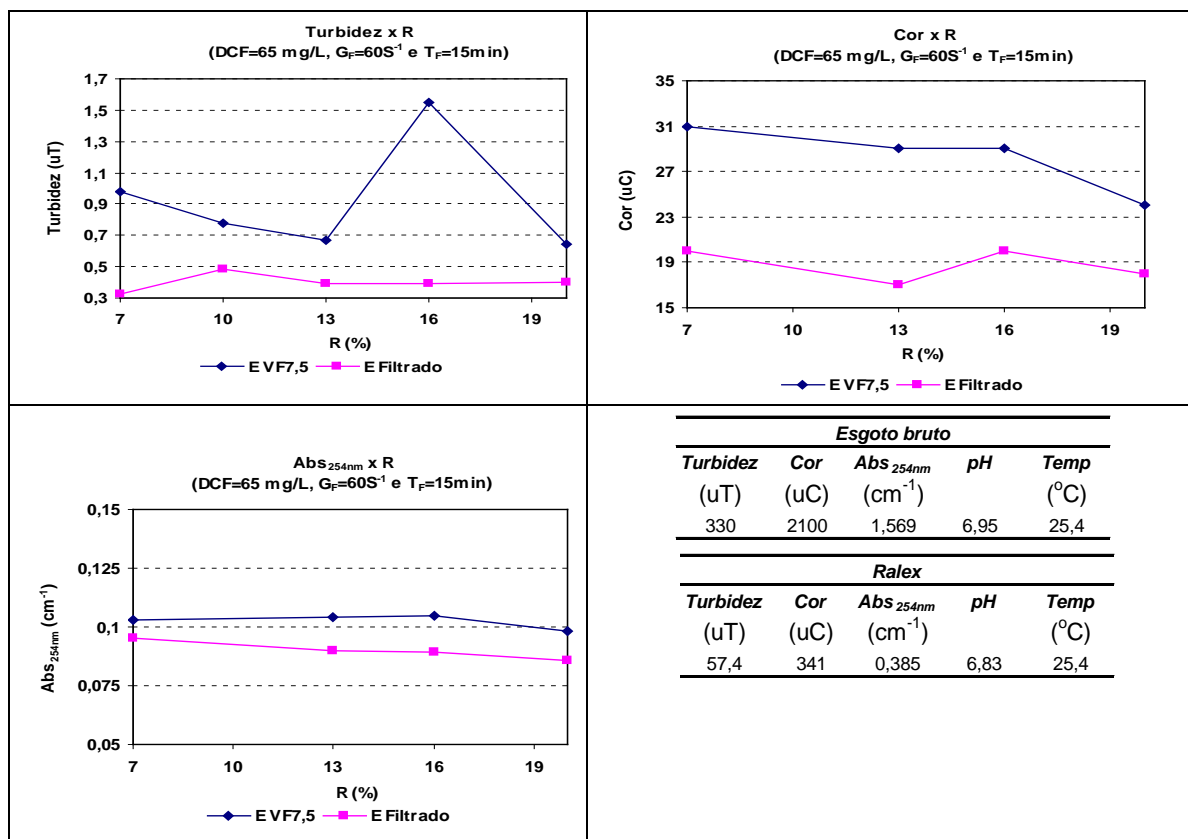


Figura 5 - Resultados do ensaio com o flotateste seguido de filtro com tamanho dos grãos de 0,42 a 0,59 mm

É possível verificar que os filtros constituídos de leitos de areia com tamanhos dos grãos variando entre 0,42 mm e 0,59 mm foram capazes de produzir efluente final do sistema de bancada flotateste/filtros com turbidez sempre abaixo de 0,5 uT independente da taxa de recirculação utilizada. Avaliando-se a remoção de cor no sistema flotateste/filtros, é possível verificar que nos ensaios conduzidos, o efluente final apresentou cor aparente em torno de 20 uC o que, se comparado aos resultados de turbidez encontrados, não representa eficiência equivalente. É possível sugerir que o sistema de bancada flotateste/filtros é mais eficiente na remoção de material particulado, mais relacionado a turbidez, do que material dissolvido, mais relacionado a cor. Corroboram com esta análise, os resultados encontrados para os valores de Abs_{254nm} das amostras coletadas que apresentaram valores do efluente final próximos a 0,100 cm⁻¹.

De maneira geral, independe dos parâmetros fixos e variáveis estudados na realização dos ensaios, principalmente nos ensaios nos quais a DCF adotada foi de 65 mg/L, os filtros apresentaram boa capacidade de retenção dos sólidos remanescentes da flotação. Dosagens baixas de cloreto férrico não foram capazes de promover a desestabilização adequada das partículas ou a formação de flocos com boas características de flotabilidade o que pode ter interferido na eficiência do processo de filtração.

É possível constatar que em alguns ensaios o sistema apresentou maiores eficiências de remoção pelos filtros que em outros, no entanto, com residuais de turbidez, cor e Abs_{254nm} superiores se comparados aos resultados destes nos quais as eficiências do sistema foram menores. É importante observar que nestes casos foi verificado

tratamento satisfatório já na etapa de flotação, ou seja, o afluente ao filtro já apresentava valores baixos para os parâmetros medidos.

Testes semelhantes aos conduzidos utilizando-se leito filtrante composto por areia com granulometria variando de 0,42 a 0,59 mm de diâmetro foram conduzidos, conforme Figura 3, para filtros com leitos filtrantes constituídos de areia com tamanhos dos grãos variando de 0,59 a 0,71 mm, 0,71 a 0,84 mm e 0,84 a 1,0 mm, mantendo-se fixos os parâmetros considerados adequados no ensaio anterior (ensaio 1). Assim sendo, foram mantidos fixos $T_{mr} = 10$ s, $G_{mr} = 1000$ s⁻¹, $T_F = 15$ min, $G_F = 60$ s⁻¹, $R = 20\%$ e $P_{sat} = 450 \pm 10$ kPa. No ensaio 1 foram avaliadas concentrações de cloreto férrico (DCF) de 40 a 75 mg/L sendo constatado que nos ensaios onde as concentrações de cloreto férrico variaram entre 65 e 72,5 mg/L as eficiências de remoção de turbidez, cor e Abs_{254nm} foram satisfatórias e portanto adotadas nos ensaios seguintes.

A Figura 6 representa os resultados encontrados utilizando-se filtros de areia com granulometria variando entre 0,59 e 0,71 mm seguindo critérios utilizados no ensaio anterior.

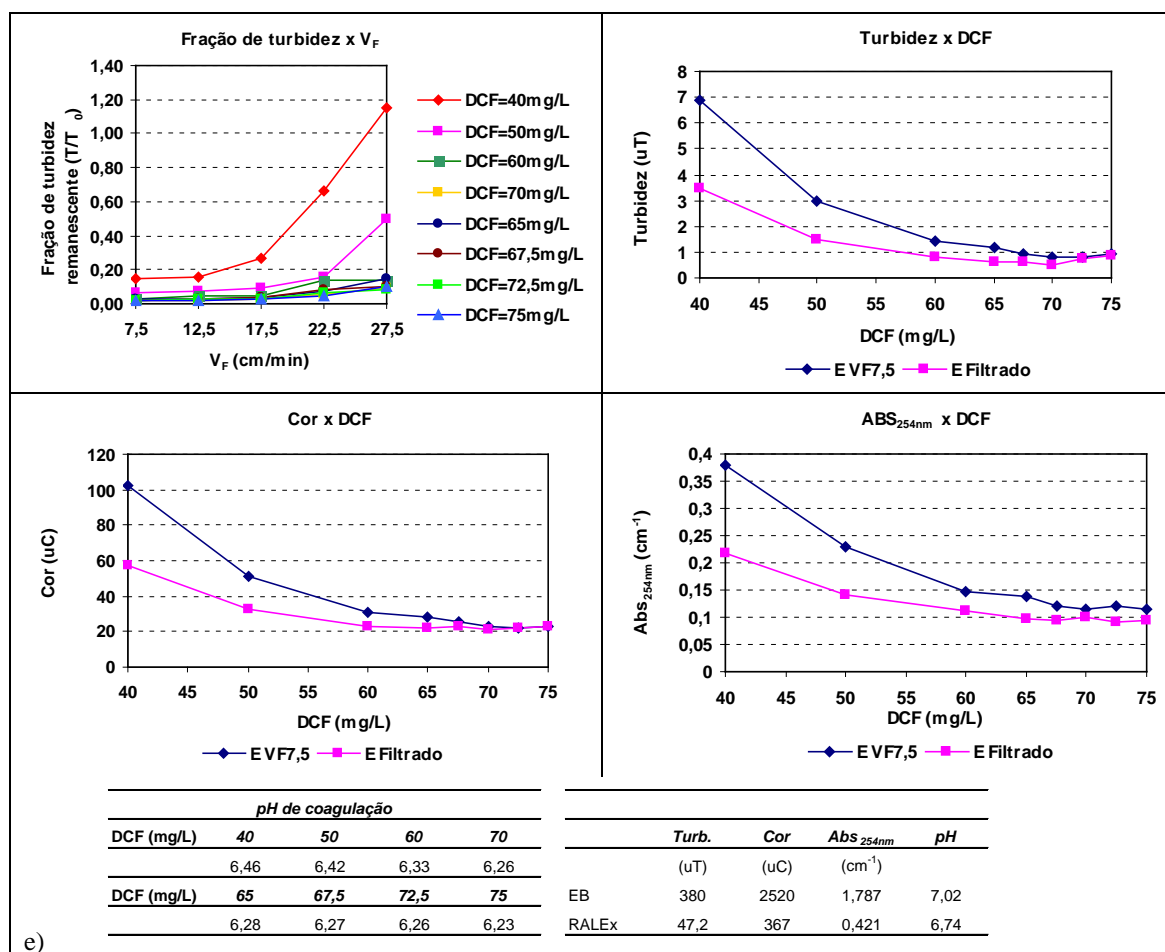


Figura 6 - Resultados do ensaio com o flotatestes seguido de filtro com tamanho dos grãos de 0,59 a 0,71 mm

Foram mantidos fixos $T_{mr} = 10$ s, $G_{mr} = 1000$ s⁻¹, $T_F = 15$ min, $G_F = 60$ s⁻¹, $R = 20\%$ e $P_{sat} = 450$ kPa

As remoções parciais de turbidez, cor e absorvância apresentaram comportamento semelhante aos obtidos nos ensaios precedentes e se comparadas entre si. As maiores DCF proporcionam eficiências elevadas de remoção já na etapa de flotação, de forma que o afluente aos filtros apresentou baixas concentrações de turbidez, cor e Abs_{254nm} .

Analisando-se a Figura 6 pode-se observar que para DCF maiores de 50 mg/L houve no mínimo 83% de remoção de turbidez considerando-se as velocidades de flotação até 22,5 cm/min. No entanto, os melhores

resultados foram observados para a faixa de DCF entre 65 mg/L e 72,5 mg/L, para todas as velocidades de flotação consideradas.

A Figura 7 ilustra os resultados encontrados com utilização dos filtros com tamanhos dos grãos de areia de 0,71 a 0,84 mm.

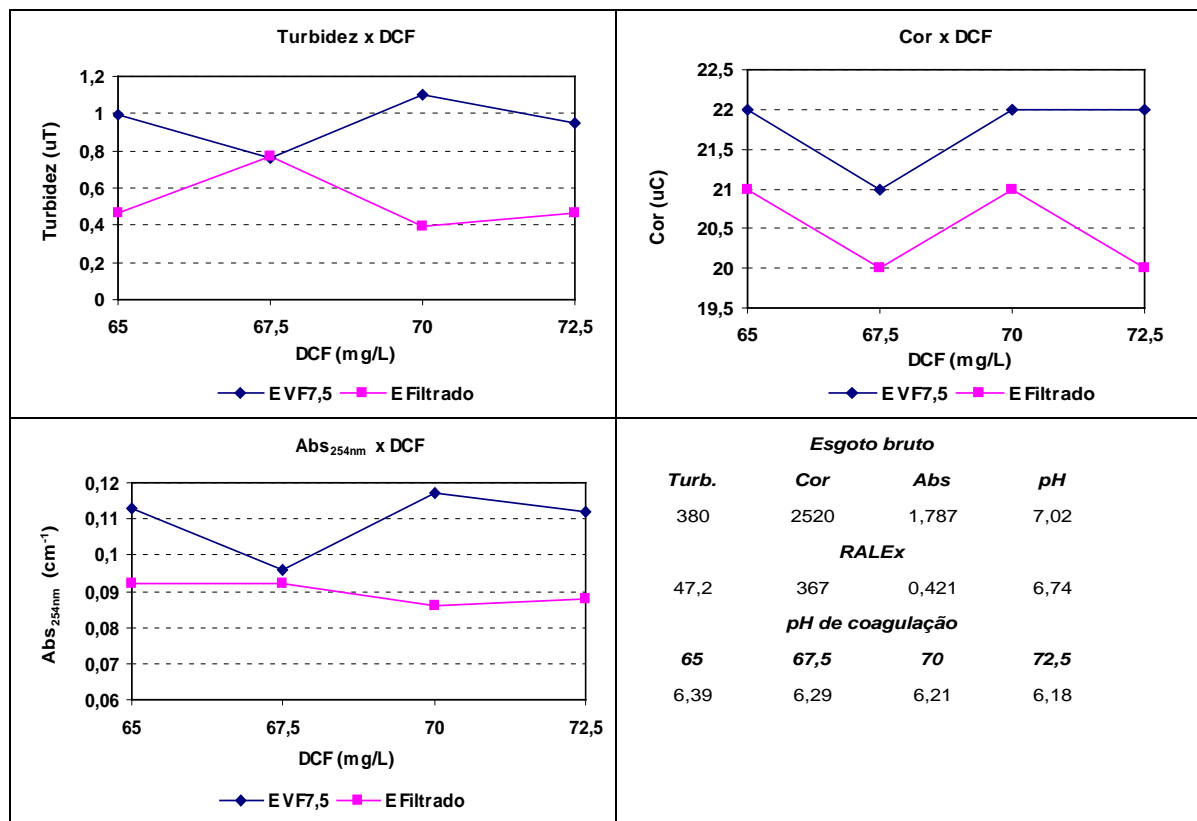


Figura 7 - Resultados do ensaio com o flotatestes seguido de filtro 1 com tamanho dos grãos de 0,71 a 0,84 mm

Foram mantidos fixos $T_{mr} = 10$ s, $G_{mr} = 1000$ s⁻¹, $T_F = 15$ min, $G_F = 60$ s⁻¹, $R = 20\%$ e $P_{sat} = 450$ kPa

De acordo com o apresentado pode-se observar que apesar do afluente ao filtro apresentar baixos valores de turbidez, cor e absorvância, ainda assim, o filtro foi capaz de reter cerca de 50% da turbidez afluente e aproximadamente 5% de cor e absorvância. De fato, os filtros apresentam maior eficiência de retenção do material particulado, mais relacionado à turbidez.

A Figura 8 ilustra os resultados encontrados com utilização dos filtros com tamanhos dos grãos de areia de 0,84 a 1,00 mm. Pode-se dizer que com o aumento da granulometria não houve queda nas características do efluente final filtrado em termos de turbidez e Abs_{254nm}, no entanto, para o parâmetro cor não houve redução com o emprego do filtro com esta granulometria da areia.

De maneira geral pode ser concluído que o sistema composto por flotatestes seguido de filtros em escala de bancada foi bastante eficaz na retenção de impurezas do afluente ao sistema (efluente do RALEX). De acordo com a Figura 7 os experimentos conduzidos com filtro de tamanho dos grãos de areia entre 0,71 mm e 0,84 mm proporcionaram redução da turbidez do flotado a 7,5 cm/min de 1,1 uT para 0,4 uT no efluente filtrado com DCF de 70 mg/L. Em contrapartida praticamente não foi capaz de remover cor e absorvância, apresentando valores destes parâmetros no efluente flotado e filtrado muito próximos. O mesmo acontece com a utilização do filtro com tamanho dos grãos entre 0,84 mm e 1,0 mm. A proximidade nos valores encontrados deve-se principalmente a grande eficiência de redução destes parâmetros já na etapa de flotação.

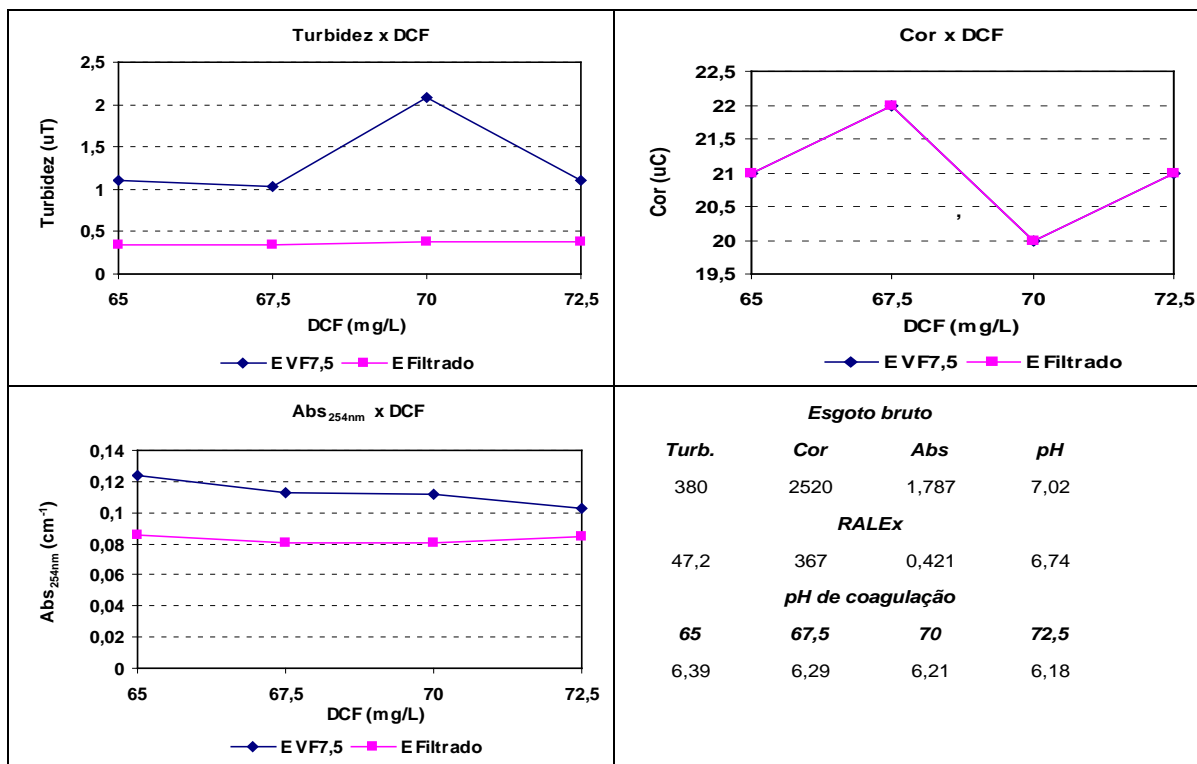


Figura 8 - Resultados do ensaio com o flotatestes seguido de filtro 1 com tamanho dos grãos variando de 0,84 a 1,00 mm

Foram mantidos fixos $T_{mr} = 10$ s, $G_{mr} = 1000$ s⁻¹, $T_F = 15$ min, $G_F = 60$ s⁻¹, $R = 20\%$ e $P_{sat} = 450$ kPa

CONCLUSÕES

De maneira geral, independente dos parâmetros fixos e variáveis estudados na realização dos ensaios, a adoção de DCF da ordem de 65 mg/L (13,4 mg/L de Fe³⁺), os filtros apresentaram boa capacidade de retenção dos sólidos remanescentes da flotação.

Apenas no primeiro ensaio e para DCF abaixo de 40 mg/L é que pode-se verificar pouca eficiência na remoção de turbidez, cor e absorvância da amostra afluenta (efluente flotado na velocidade de flotação de 7,5 cm/min) aos filtros. Dosagens baixas de cloreto férrico não foram capazes de desestabilizar as partículas dificultando a eficiência do processo de filtração.

Pode-se observar também que em alguns momentos, mesmo os resultados indicando menor eficiência de tratamento, na etapa de filtração, pode-se verificar que ainda assim foram produzidos efluentes com menores residuais de turbidez. É importante observar que nestes casos, já na etapa de flotação foi verificado tratamento satisfatório, ou seja, o afluenta ao filtro era de melhor qualidade.

Os três tipos de filtros conduziram a bons resultados na função de “barreira” para as impurezas que atravessam a etapa de flotação. No entanto, como esperado, as maiores eficiências foram conseguidas para remoção de turbidez, parâmetro mais relacionado ao material particulado, do que cor e Abs_{254nm} que estão mais relacionados ao material dissolvido. Isso nos permite concluir que se após a floculação/flotação o efluente ainda apresentar elevada cor e Abs_{254nm}, provavelmente também apresentará após a filtração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cikurel, H. Rebhum, M., Amirtharajah, A. & Adin, A. Wastewater Effluent reuse by In-line Flocculation Filtration Process. *Water Science Technology*, vol. 33, n. 10-11, pp. 203-211, 1996.
2. Di Bernardo, L.; Pádua, V.L.; Di Bernardo, A.S. Desenvolvimento de Instalação de Laboratório para Determinação da Dosagem de Coagulante na Filtração Direta. *Anais eletrônicos do IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Porto Seguro, BA, 2001.
3. Ghosh, M., Amirtharajah, A. & Adin, A. Particle Destabilization for Tertiary Treatment of Municipal Wastewater by Filtration. *Water Science and Technology*, vol 30, n. 9, pp. 209-218, 1994.
4. Hamoda, M. F.; Al-Ghusain, I. & Al-Mutairi, N. Z. Sand Filtration of Wastewater for Tertiary Treatment and Water Reuse. *Desalination*, v. 164, pp 203-211, 2004.
5. Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse*. McGraw-Hill, 3rd edition, 1334p, 1991.
6. Niciura, C. L. *Avaliação do Uso da Banda de Rodagem de Pneus Inservíveis Triturada como Suporte ao Desenvolvimento de Biofilmes em um Reator Anaeróbio de Leito Expansível*. São Carlos, 179 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2005.
7. Penetra, R. G. *Flotação Aplicada ao Pós-tratamento do Efluente de Reator Anaeróbio de Leito Expandido Tratando Esgoto Sanitário*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.
8. Realí, M. A. P. *Aplicação da Flotação por Ar Dissolvido ao Tratamento de Águas de Abastecimento*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1984.
9. Realí, M. A. P. *Concepção e Avaliação de um Sistema Compacto para Tratamento de Águas de Abastecimento utilizando o Processo de Flotação por Ar Dissolvido e Filtração com Taxa Declinante*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.
10. Zabel, T. Flotation in water treatment. In: Ives, K. J. ed. *The Scientific Basis of Flotation*. Proceedings of the NATO Advanced Science Institute on the Scientific Basis of Flotation, Cambridge, England, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, 349-77, 1984.