

I-040 ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS À SELEÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Lyda Patrícia Sabogal-Paz ⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista pela *Universidad del Valle*, Cali, Colômbia. Doutoranda em Engenharia Civil, programa de pós-graduação em Hidráulica e Saneamento na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo –EESC/USP.

Luiz Di Bernardo

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo –EESC/USP

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São Carlense, 400. São Carlos/SP. Brasil. CEP: 13566-590. Tel: (16) 3373 95 28. e-mail: lysaboga@yahoo.com.br

RESUMO

O tratamento da água de consumo traz benefícios à população, porém gera impactos ambientais, especialmente pela formação de lodos residuais. Nos últimos anos, a legislação nacional vem restringindo o lançamento desses resíduos na natureza, ocasionando problemas nas empresas prestadoras do serviço. Para encontrar solução a esse inconveniente, os engenheiros precisam conhecer os fatores que permitem selecionar tecnologia com maior probabilidade de sucesso. Assim, conforme os resultados do trabalho, para a escolha do método de tratamento dos resíduos gerados nas ETAs, os fatores comumente considerados são: i) estudos preliminares dos processos e das operações da ETA, analisando o funcionamento hidráulico, a operação e a manutenção das unidades de filtração e de decantação, a dosagem de produtos químicos, o mecanismo de coagulação e a vazão de operação do sistema; ii) análise do resíduo gerado, em laboratório e/ou escala piloto, considerando as características qualitativas e quantitativas do resíduo; iii) características da água bruta a ser tratada e da tecnologia de tratamento de água (nova ou existente); iv) tipo tecnologia de tratamento do lodo considerando as condições climáticas da região, o condicionamento, a área necessária para implantação e a vazão de operação; v) método escolhido para aproveitamento e/ou disposição do lodo considerando distância da ETA até o destino final; vi) experiência da tecnologia no país; vii) custos de investimento inicial, futuro e de reposição, além das despesas de operação, de manutenção e de administração do sistema; viii) disponibilidade de recurso humano capacitado para operação e manutenção e; ix) condições sócio-econômicas, culturais, institucionais e normativas da região.

Da análise dos fatores relacionados com a seleção de tecnologias para tratamento, aproveitamento e disposição dos resíduos, é possível concluir que a escolha da técnica não deve ser avaliada de forma independente à empregada na ETA; o problema deve ser abordado de forma sistemática considerando que grau de tratamento do lodo depende, diretamente, do método de aproveitamento e de disposição do resíduo, junto com a qualidade desejada para a parcela líquida a ser recirculada no início da ETA (se esta possibilidade for considerada).

PALAVRAS-CHAVE: Fatores de Seleção de Tecnologia, Lodo de ETA.

INTRODUÇÃO

A estação de tratamento de água – ETA tem por objetivo transformar água bruta em água tratada conforme a legislação vigente. Para atingir essa meta são utilizados processos e operações que se interligam de maneira semelhante à técnica produtiva industrial. É indiscutível que ao tratar água bruta, a ETA gera benefícios sociais, mas, como toda indústria de transformação, pode produzir impactos no ambiente. Neste contexto, a produção de resíduos representa um sério problema para as instituições que gerenciam tais sistemas, considerando que, no Brasil, existem restrições para seu lançamento na natureza, conforme leis federais (Resolução CONAMA n° 357 (2005), Norma NBR 10.004 (2004), Lei 9433 (1997), Lei n.º 9.605 (1998) e diversas Leis Estaduais. O crescente interesse das instituições que gerenciam as ETAs, no intuito de cumprir as disposições legais e atingir níveis de qualidade e excelência, faz com que a seleção adequada da tecnologia de



tratamento dos resíduos e sua apropriada disposição no ambiente receba destaque e motive os engenheiros projetistas na busca de solução que minimize a relação custo-benefício. Nesta tarefa, os profissionais enfrentam à limitada literatura relacionada aos fatores a serem considerados no assunto. Atendendo a esta necessidade, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os aspectos conceituais relacionados à seleção de tecnologia de tratamento, de aproveitamento e de disposição dos resíduos gerados nas ETAs.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração deste trabalho foi realizada uma extensa revisão bibliográfica das experiências de vários autores nacionais e internacionais, com o intuito de analisar os fatores a serem considerados na seleção de tecnologias de tratamento, de aproveitamento e de disposição dos resíduos gerados nas ETAs, considerando as vantagens e as desvantagens de cada técnica, complementando-se com experiências brasileiras em estações de tratamento de água localizadas principalmente nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Santa Catarina. É importante mencionar que no trabalho, não serão analisados os resíduos gerados nos processos de adsorção, troca iônica e membranas, entre outros, associados à remoção específica de compostos orgânicos e inorgânicos na água bruta.

FATORES DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIA

A seguir são apresentados os fatores comumente utilizados na seleção de alternativas de tratamento, de aproveitamento e de disposição dos resíduos gerados nas ETAs, apresentando alguns exemplos e experiências que justificam seu uso.

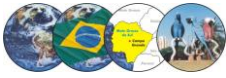
Estudos de Laboratório e/ou Escala Piloto e Uso de Equações Empíricas

No projeto da estação do tratamento do resíduo – ETR em ETAs existentes é fundamental a determinação da produção de lodo, a qual pode ser estimada *in loco*, pela determinação dos sólidos provenientes das lavagens dos filtros e das descargas dos decantadores e vazões dos mesmos. A escolha do tratamento deve basear-se em resultados de laboratório, em batelada e/ou escala piloto, com amostras representativas do lodo. Antes do projeto da ETR, devem ser feitos estudos prévios, com o intuito de reduzir a quantidade de resíduos, orientados à mudança do coagulante, alteração do sistema de lavagem dos filtros e/ou decantadores, capacitação dos operadores da ETA, automação do sistema (pois a adição de produtos químicos, bem como as descargas dos decantadores, lavagens de filtros e outras funções, poderão ser controladas com maior precisão). Outras variáveis podem surgir, as quais serão definidas após o conhecimento do funcionamento da ETA (DI BERNARDO, L. 2005).

No caso da existência da ETR na ETA, as seleções dos métodos de aproveitamento e de disposição dos resíduos precisam avaliar-se conforme os produtos químicos utilizados, o desempenho da ETR, as atividades de operação e manutenção, entre outros. O intuito é aumentar a eficiência do sistema, resultando uma torta de resíduo com concentração máxima de sólidos, a qual pode garantir maiores opções na escolha das técnicas de aproveitamento e de disposição.

Em ETAs em fase de projeto, a produção de lodo a ser enviada para a ETR, dentro do possível, deve ser quantificada por meio de ensaios de laboratório da água bruta em bancada e/ou em escala piloto, com o intuito de, além dos sólidos, conhecer outros parâmetros de interesse, considerando suas variações no tempo (estiagem, chuva e situações extremas), especialmente se houver interesse na automação do sistema (FERREIRA FILHO, S.S. *et al.*, 1998; GARCÉS A. F. *et al.*, 1996). Outra forma de quantificar os lodos de ETA em fase de projeto, dada a impossibilidade da realização de ensaios de tratabilidade da água bruta, é por meio do balanço de massa e adoção da eficiência na remoção de sólidos com o uso de equações empíricas (considerando alguns parâmetros de qualidade da água bruta e dosagens de produtos químicos), estimando a fração do total de SST retidos em cada unidade da ETA e programando as operações de descargas de lodo de decantadores (ou flutuadores) e lavagem de filtros.

Em ETR em fase de projeto, a definição das técnicas de aproveitamento e de disposição do resíduo precisa da realização de estudos de laboratório em bancada e/ou em escala piloto com o lodo a ser gerado na ETR, o qual pode ser obtido a partir dos ensaios de tratabilidade da água bruta.



Características Qualitativas da Água Bruta e do Resíduo da ETA.

No projeto da ETR, as características da água bruta a ser tratada na ETA estão diretamente associadas às características do lodo gerado; estudos demonstram que lodos com alto teor de matéria orgânica apresentam as piores condições de adensamento e de desaguamento, se comparados com lodos que preferencialmente apresentam materiais sólidos inorgânicos como silte, argilas e hidróxido metálico precipitado (DULIN, B. E, *et al.*, 1989). Neste contexto, Ferreira Filho, S. S. (1997) indicou que os lodos provenientes de ETAs que tratam mananciais eutrofizados, os quais apresentam alto teor de material orgânico, possuem má capacidade de adensamento por gravidade se comparando com lodos provenientes de fontes com baixo nível de eutrofização.

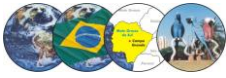
Bache, D. H. *et al.* (2003), apresentaram estudos que demonstraram que a diminuição no desaguamento do lodo estava relacionada à presença de matéria orgânica no resíduo, isto porque em fontes superficiais eutrofizadas se produzem pequenos flocos com maior teor de água. No caso de presença de algas na fonte, seus compostos extracelulares alteram características do lodo, incrementando a carga negativa nas partículas, afetando as condições de desaguamento do resíduo; Pan, J.R. *et al.* (1998) observou aumento no desaguamento do lodo de sulfato de alumínio, com baixos níveis de matéria orgânica extracelular. Nos testes realizados, o melhor desaguamento do lodo foi atingido pelo polímero catiônico, confirmando a importância da neutralização da carga no condicionamento do resíduo. De outra parte, lodos com elevado teor de precipitado de hidróxido de alumínio, típico de coagulação no mecanismo varredura, apresenta dificuldade de desaguamento, devido à capacidade do hidróxido de alumínio de adsorver água na sua superfície (GONÇALVES, R. F. *et al.*, 1997).

Considerando o aproveitamento e a disposição dos resíduos das ETAs, estudos como os de Gonçalves, R. F *et al.* (1997) indicaram que lodos com expressivo teor de precipitado de hidróxido de alumínio apresentam grande potencial de recuperação de coagulante, porque os compostos ácidos e alcalinos usados prontamente reagem com os hidróxidos precipitados. Da mesma forma, a presença de alumínio no lodo, em altas concentrações, não é recomendável para disposição do resíduo no solo, pois a ligação desse metal com o fósforo presente na terra pode limitar o crescimento das plantas (KAGGWA, R. C, *et al.* . 2001). Da mesma forma, altas concentrações de organismos patogênicos no lodo limitam seu uso como auxiliar na sedimentação de águas de abastecimento com baixa turbidez, pelo alto risco sanitário envolvido. Segundo Dias, L.M, *et al.* (2004) o lodo de ETA pode apresentar, em sua composição química, óxidos relativos a formações argilosas, o que teoricamente justifica seu potencial como matéria-prima na produção de blocos cerâmicos.

Tecnologia de Tratamento de Água

O tipo de ETA depende, entre outros fatores, da qualidade da água bruta, influenciando a quantidade e a qualidade do resíduo gerado nos decantadores (ou flotações) e nas lavagens dos filtros. Em estações de filtração direta há retenção de partículas primárias ou de pequenos flocos, enquanto na filtração de água decantada tem-se, principalmente, retenção de fragmentos de flocos, o que contribui para que sejam diferentes as características do resíduo. Estudos evidenciam que ETAs que empregam processos de oxidação química à montante da coagulação, podem apresentar lodos de difícil desaguamento (KAWAMOTO, P.H. *et al.* 2000).

O tipo de decantador e suas características operacionais interferem no método de tratamento dos resíduos, pois os decantadores convencionais (sem equipamento de extração de lodo) geralmente são limpos em intervalos de tempo de 1 a 4 meses, gerando resíduos mais concentrados que os observados em decantadores de alta taxa ou convencionais com dispositivos de extração do resíduo, os quais são limpos freqüentemente. Segundo resultados de Silva, A. P. *et al.* (2002), verifica-se que o lodo do decantador convencional necessita dosar menos polímero aniônico, comparado ao decantador laminar, considerando concentração de sólidos de 0,28 a 1,28% e de 0,22 e 0,37%, respectivamente. Castro, A. A. *et al.* (1997), estabelece que, em linhas gerais, a vazão média de resíduos gerados na ETA encontra-se entre 1 a 3% da vazão tratada, sendo 10% da descarga dos decantadores e 90% da lavagem dos filtros. Segundo Ferreira Filho, S.S. (1997), em termos volumétricos, a maior quantidade de resíduo gerado é proveniente da lavagem dos filtros. No entanto, em termos mássicos, a maior quantidade de lodo produzido provém dos decantadores. Cada linha geradora de resíduos apresenta características distintas, quanto à vazão e à concentração de sólidos, razão pela qual devem ser consideradas diferentes concepções de ETR.



Coagulante e Outros Produtos Químicos Utilizados na ETA

No projeto da ETR, estações de tratamento de água que utilizam sais de alumínio ou de ferro como coagulante produzem lodo de coloração marrom ou marrom-avermelhada, que se apresenta no estado de gel quando em repouso e torna-se relativamente fluido quando submetido a esforços cisalhantes. Geralmente é difícil de sedimentar ou flotar no estado natural, tendo necessidade de adição de polímeros (ou outro tipo de condicionamento) para atingir adequado desempenho na ETR. Conforme Sens, M.L., *et al.* (2003) e Demattos M. *et al* (2001), cerca de 92% do lodo gerado nas ETAs é formado por produtos químicos empregados no processo de tratamento e o 8% restante corresponde às impurezas removidas na água. Os resultados de Barroso, M. M. *et al* (2002) demonstraram que a adição de produtos químicos contribui para a produção de 37% do total de sólidos gerados. A diferença desses resultados mostrou a importância na adequada escolha dos produtos químicos a serem utilizados na ETA.

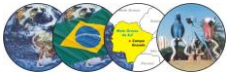
Segundo Di Bernardo, L. *et al.* (1999), o tipo de coagulante empregado no tratamento tem influência na quantidade do resíduo gerado durante a lavagem dos filtros. Quando é empregado cloreto férrico, em comparação ao sulfato de alumínio, as dosagens do produto resultam menores e a duração das carreiras de filtração podendo resultar mais longas, dependendo das características da água bruta; conseqüentemente, a água decantada pode apresentar menor quantidade de sólidos e, com isso, diminuir o número de lavagens e gerar menor volume de resíduos em um mesmo período.

Com o intuito de avaliar a remoção de turbidez e cor aparente e a quantidade de lodo gerado na sedimentação em equipamentos de bancada, Sens, M. L., *et al.* (2003) estudaram a água do rio Itajaí Mirim, que é usada pela ETA Brusque/SC. Foram avaliados os seguintes coagulantes: sulfato de alumínio, Flocculan, três tipos de Polifloc, sulfato ferroso, hidróxi-cloreto de alumínio, sulfato férrico, cloreto férrico e polieletrólito catiônico médio. Os autores verificaram que sulfato férrico, cloreto férrico e hidróxi-cloreto de alumínio, tiveram excelente rendimento na remoção dos parâmetros analisados, bem como, baixa produção de lodo, independente da faixa de cor e turbidez da água bruta. Em relação à produção de lodo, a menor quantidade de lodo produzido foi obtido com sulfato férrico. Silva, N. I. *et al* (1999) afirmam que o sulfato de alumínio férrico, dependendo do estado, pode gerar mais ou menos sólidos. Nesse caso, na forma líquida, os insolúveis são da ordem de 0,1%, e na forma granulada há a incorporação de até 6% de insolúveis, os quais contribuem para aumentar o lodo das ETAs.

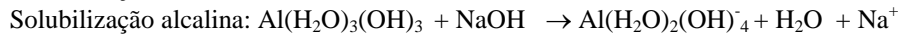
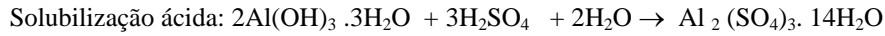
O uso de sais de alumínio na estação pode inviabilizar a disposição do resíduo no solo e nas ETEs, devido à facilidade que tem o alumínio para se ligar com o fósforo, o que gera limitação deste nutriente no meio, afetando o crescimento das plantas e dos microorganismos. No caso da presença de ferro no lodo, este pode ser utilizado em fazendas de gramíneas e de cítricos, pelo fato de ser um elemento essencial para o desenvolvimento desses cultivos (RICHTER, C. A, 2001). Para aproveitamento do resíduo, a presença de carvão ativado e/ou cal no lodo inviabiliza seu uso na fabricação de tijolos, por causar expansão e, conseqüentemente, rachaduras; porém esse lodo pode ser utilizado na recuperação de solos com acidez alta (TSUTYIA M. T. *et al.* 2001).

Mecanismo de Coagulação Utilizado na ETA

No tratamento do resíduo, pesquisas demonstram que a facilidade de desaguamento dos lodos está relacionada aos mecanismos de coagulação usados nas ETAs. Lodos provenientes do tratamento de águas superficiais coaguladas no mecanismo de neutralização de cargas apresentam menor resistência específica e são mais fáceis de desaguar (KNOCKE *et al.*, 1987). Neste contexto, Cornwell *et al.* (1987) e Ferreira Filho, S.S. *et al* (1998), reportam menores volumes e melhores características de adensamento dos resíduos obtidos a partir da coagulação realizada nos mecanismos de neutralização. Lodos oriundos do tratamento de águas superficiais com elevados teores de sólidos suspensos (com mais minerais) são mais fáceis de desaguar, provavelmente porque provêm de coagulação no mecanismo de neutralização de cargas (GONÇALVES, R. F. *et al*, 1997). O teor de matéria orgânica do floco também interfere na facilidade de desaguamento dos lodos. Dulin *et al.* (1989) constataram que quanto maior o teor de matéria orgânica do floco menos denso ele será e mais difícil será desaguar-lo. Isto se deve, provavelmente, à abundante presença de precipitado gelatinoso (hidróxido de alumínio hidratado), típico de lodos provenientes da coagulação no mecanismo varredura; este composto (hidróxido) apresenta a capacidade de adsorver água na sua superfície, dificultando o desaguamento.



Para aproveitamento e disposição do resíduo, Gonçalves, R. F *et al.* (1997) afirmam que os mecanismos de coagulação podem ser úteis no estudo da regenerabilidade dos coagulantes contidos no lodo, haja vista que os compostos formados durante a etapa da coagulação-floculação serão o alvo da solubilização, através das seguintes reações:



As reações indicam que tanto ácido como base reagem com a fração do lodo que está sob a forma de hidróxido tri-hidratado (gerado a partir da coagulação da água bruta no mecanismo de varredura). A fração de alumínio presente no lodo sob outras formas (hidroxocomplexos adsorvidos em colóides inorgânicos e alumínio presentes na estrutura dos materiais argilosos e silicosos contidos na água bruta), dificilmente serão solubilizados nas condições usualmente utilizadas na regeneração de coagulantes. Segundo Gonçalves, R. F *et al.* (1999), os lodos formados no mecanismo de varredura apresentam percentual de regeneração superior ao lodo gerado através do mecanismo de neutralização de cargas, sugerindo que apenas lodos produzidos através do mecanismo de varredura seriam passíveis de regeneração.

Condicionamento do Lodo

Na ETR, tanto a eficiência quanto a viabilidade técnica dos processos de adensamento e desaguamento dependem primordialmente do condicionamento do lodo, isto porque o resíduo, em estado natural, apresenta dificuldade na remoção de água. As variáveis associadas a este fenômeno são: i) a hidratação das partículas pode formar uma película líquida carregada negativamente que impede a aproximação das mesmas para que se aglutinem; ii) as partículas de lodo são carregadas eletricamente e tendem a se repelir em vez de formar flocos e, iii) a agitação durante seu processamento pode reduzir o tamanho médio dos flocos e, conseqüentemente, aumentar as áreas superficiais das partículas, impondo maior resistência à separação das fases sólida e líquida.

O tipo de condicionante químico exerce influência na capacidade de adensamento do lodo, sendo necessário o uso de testes preliminares com diversos tipos de químicos, visando a seleção daquele que proporcione melhores resultados no lodo em estudo (TEXEIRA, L.C., *et al.* 1999). Quando são utilizados polímeros, estes se aderem às superfícies das partículas causando a desorção da água superficial quimicamente ligada a elas, a neutralização da carga e a aglomeração entre pequenas partículas; como resultado, o lodo produzido é mais facilmente desaguado. O tipo de polímero a ser empregado depende do pH do resíduo; geralmente, os catiônicos funcionam melhor em valores de pH abaixo de 7,0 e os não iônicos e aniônicos, de modo geral, funcionam satisfatoriamente em valores de pH entre 6,5 e 8,5; com pH acima de 8,5, o polímero recomendado seria o aniônico. Para melhorar os resultados com o uso de polímeros, tem sido empregada cal antes da adição dos mesmos (DI BERNARDO, L. *et al.* 1999).

Pesquisadores como Zhao, Y. Q. *et al.* (2001), demonstraram experimentalmente que o uso de sulfato de cálcio hidratado junto com polímero melhora a filtrabilidade do lodo gerado em ETA, que usa sulfato de alumínio como coagulante e trata água bruta com cor alta e turbidez baixa. Zhao, Y. Q. *et al.* (2002), estabeleceram que o uso de sulfato de cálcio hidratado com polímero formava um floco com menos afinidade com a água e mais compacto no lodo. Isto pode ajudar na construção de poros no meio filtrante, permeáveis e resistentes, os quais retêm sólidos e permitem a passagem da água (importante para sistemas do tipo *Belt Press*). Outros resultados dos autores mostram que a resistência hidráulica do meio filtrante esta associada à relação entre a quantidade de polímero e sólidos coloidais presentes, considerando o tamanho da partícula.

Conforme Zhao, Y. Q. (2003), a mais clara manifestação da interação entre o lodo e o polímero é a produção de flocos. Esse autor verificou que o volume do floco decresce com o incremento do polímero, embora Wu, C. C. *et al.* (1997) demonstraram o contrário; a discrepância pode ser atribuída à diferença entre polímeros utilizados. Em outra perspectiva, Siqueira, S. R. (2004), afirmou que o emprego de cal e cloro como condicionador para o processo de desaguamento do resíduo pode estabilizá-lo, diminuindo a geração de gases em lodos com alta concentração de matéria orgânica. Isto é importante, principalmente quando, no tratamento, são utilizadas lagoas de lodo ou leitos de secagem.

No caso do aproveitamento do resíduo, condicionamento com sulfato de cálcio hidratado pode incrementar a aplicação do lodo no solo, especialmente quando o pH do solo é baixo (ZHAO, Y. Q., *et al.* 2001).



Vazão de Operação da ETA e da ETR

Existe uma relação diretamente proporcional entre a vazão tratada na estação e a quantidade de lodos gerados, isto influencia diretamente a tecnologia de tratamento, aproveitamento e disposição do resíduo. Neste contexto, devem ser estudados os catálogos dos adensadores e dos desaguadores mecânicos, com o intuito de ser estabelecida a vazão de operação do resíduo pelo equipamento. Segundo Richter C. A. (2001), o adensamento normalmente, por gravidade, é um processo contínuo, porém em pequenas instalações pode ser vantajosa a alternativa por batelada. O autor afirmou que devido aos altos valores de implantação (caso o custo do terreno seja alto), para pequenas ETAs com vazão de operação de até 200 L/s, são mais indicadas técnicas de desaguamento por lagoas de lodo ou leitos de secagem.

Do modo geral, em ETAs existentes, com altas vazões de alimentação, os sistemas de adensamento ou desaguamento podem não suportar a carga. Este fato foi verificado por Damattos, M. *et al.* (2001) na ETA Rio Manso/MG, na qual os resíduos eram lançados diretamente em cinco lagoas, com volume de até seis vezes superior ao projetado e concentração de sólido quatro vezes inferior, provocando o enchimento das lagoas em um tempo menor que o previsto, impossibilitando a secagem do lodo.

Em ensaios com adensamento mecânico, Mendes, R. L. *et al.* (2001), encontraram dificuldades para controle da relação massa de polímero e massa de sólidos, uma vez que o lodo alimentado apresentava grande variação de teor de sólidos. No início de cada ciclo, percebia-se excesso de polímero pela alta viscosidade do filtrado. Nos ensaios foi verificado que, ao trabalhar com altas vazões de alimentação, o sistema de adensamento não suportava a carga de sólidos, afetado a filtração.

No caso do aproveitamento e da disposição do resíduo devem ser realizadas avaliações técnicas e econômicas com o intuito de ser encontrada a melhor alternativa, em relação ao volume de lodo gerado, diariamente, na ETA.

Operação e Manutenção das Unidades de Decantação e Filtração na ETA

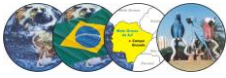
A lavagem dos filtros pode ser feita de diversas maneiras, podendo gerar maior ou menor volume de resíduos líquidos. A lavagem dos filtros apenas com água, no sentido ascensional, concorre para a geração de maior volume de água quando comparado ao sistema que possui lavagem auxiliar com ar, seguida da lavagem ascensional (DI BERNARDO, L. *et al.* 1999).

O procedimento utilizado na limpeza dos decantadores também interfere na qualidade dos resíduos gerados, principalmente no que diz respeito à concentração de sólidos. A limpeza manual resulta na produção de resíduos líquidos em bateladas, o que dificulta o gerenciamento. Neste caso, a remoção mecânica intermitente ou contínua permite maior eficiência e controle do sistema de tratamento evitando a coerência de condições anaeróbias (REALI, M. A. 1999).

Características Hidráulicas e Estruturais dos Projetos das ETAs

Falhas nos projetos hidráulicos e estruturais das ETAs podem influenciar a qualidade e quantidade do lodo produzido. O funcionamento inadequado pode reduzir a eficiência dos decantadores, dificultando a remoção do lodo e aumentando o volume de água utilizada para esta atividade (MACHADO, L.C. *et al.* 2002).

Neste contexto, Freitas, D. J. *et al.* (2004), indicam que, em função da concepção do sistema de descarga dos decantadores, podem resultar alguns problemas, associados à retirada parcial do resíduo dos poços devido à formação de dutos preferenciais. Segundo os autores, quando o perfil de lodo demonstrava necessidade, os decantadores na ETA de Taiaçupeba/SP eram descarregados para limpeza e desobstrução dos poços, demandando o envolvimento de 14 profissionais por um período de três dias, o que gerava perda superior a 17000 m³ de água por decantador, conduzindo lodo em volumes e concentrações variáveis, dificultando a operação da ETR. Esse problema também afetava a carreira de filtração, devido ao maior arraste de flocos, com necessidade de freqüentes lavagens dos filtros. A mudança da remoção mecanizada do lodo de descarga por gravidade, pelo controle feito de forma eletromecânica – por instalação de válvulas automáticas e implementação de um controlador lógico programável – trouxe benefícios associados à: redução das



intervenções de limpeza dos decantadores, melhoria na operação do sistema de adensamento e desaguamento de lodo; e redução dos custos de operação e manutenção na ETA.

Tecnologia de Tratamento do Resíduo

No caso do tratamento do resíduo, unicamente por adensamento, inviabiliza sua disposição em aterro, dada a dificuldade na sustentação dos equipamentos e taludes, devido à baixa concentração de sólidos $\leq 8\%$ (ASCE & AWWA, 1996). Este fato também limita sua utilização como matéria-prima na fabricação de cerâmica e na incorporação em matriz de concreto; porém essa baixa concentração de sólidos pode ser recomendável para disposição em estações de tratamento de esgoto ou recuperação de solos agrícolas, dependendo das características qualitativas e quantitativas do resíduo.

Área Necessária para Implantação do Tratamento

O tratamento do resíduo por desaguamento por lagoas de lodo requer grandes áreas de implantação, se comparadas com métodos como: centrifugação, filtro prensa de esteira e filtro de placas. Este seria um obstáculo em locais com limitações de área, como é o caso de ETAs localizadas dentro das cidades. Neste contexto, Souza, C. A. (2001) afirma que as principais ETAs que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo/SP não possuem área disponível para o desaguamento de lodos por via natural através da utilização de leitos de secagem ou lagoas de lodo e; informa também que algumas ETAs não dispõem de áreas para implantação do adensamento por gravidade ou flotação. Nesses cenários, torna-se imperativa a opção por adensamento e desaguamento mecânico.

Na disposição dos resíduos, este fator é importante no caso da escolha de aterros exclusivos dentro da ETA, considerando a necessidade de área para implantação por um período de operação de vários anos.

Condições Climáticas da Região

O projeto de métodos naturais de tratamento, como lagoas de lodo e leitos de secagem, requer conhecimento do clima da região. Locais com alto grau de insolação, baixa precipitação e umidade apresentam excelente eficiência na evaporação, reduzindo o tempo de secagem. Para locais com precipitações constantes e elevada umidade relativa do ar, as taxas de evaporação serão muito menores, resultando em tempo de secagem muito longo. A velocidade do vento e sua direção, aliada às condições construtivas do sistema de secagem e às construções em torno serão também decisivas no tempo de secagem (CORDEIRO, J. S. 1999).

Distância da ETA até o Destino Final

Em regiões onde o destino final do lodo está distante da ETA, o custo do transporte pode ser alto, sendo necessário diminuir seu volume para baixar os custos; neste caso, são recomendados o uso de métodos de desaguamento e secagem com concentração de sólidos superiores a 30%. Neste contexto, David, A. C. *et al.* (2004) afirmam que todas as ETAs da Região Metropolitana de São Paulo/SP geram, aproximadamente 500 toneladas por dia de torta de lodo desaguado, com teor de sólidos de 20%. O custo de disposição final desse lodo em aterros sanitários de Classe II varia de R\$ 60 a R\$ 100 por tonelada, e os custos de transporte oscilam de R\$ 10 a R\$ 15 por tonelada de lodo transportado a distâncias de até 30 km. Assim, a disposição final dessas 500 toneladas diárias de lodo resultará em um custo médio diário da ordem de R\$ 50.000,00; valor significativo para a empresa que gerência esses sistemas.

A distancia da ETA até a ETE também pode limitar a disposição dos resíduos, no caso que não exista condição técnica favorável para dispor o lodo na rede coletora de esgoto, sendo necessário construir uma adutora para essa finalidade.

Experiência da Tecnologia no Brasil

Existem diferentes formas de tratar, aproveitar e dispor os lodos das ETAs; no Brasil há técnicas, já pesquisadas, que não possuem experiência em escala real; é o caso do desaguamento do resíduo por filtração a



vácuo e o aquecimento-degelo. No aproveitamento do resíduo, isto também acontece com técnicas como fabricação de cimento a partir do lodo.

Custo do Investimento, da Operação e da Manutenção do Sistema

No tratamento, aproveitamento e disposição do resíduo, devem ser realizados estudos econômicos com o intuito de avaliar-se o retorno do investimento, a operação e manutenção do sistema. Neste contexto, Tsutyia M.T *et al.* (2001), afirmam que técnicas como a incineração pode atingir custos de R\$ 2.000 por tonelada de lodo, os quais devem ser comparados com outras opções. No caso da ETA Taiapuêba/SP, os altos custos da disposição das tortas de lodo até Itaquaquecetuba (Pajoan – Central de Tratamento de Resíduos), motivaram o projeto de um aterro exclusivo para a estação (SEQUEIRA, S. R. 2004).

Disponibilidade de Recurso Humano Capacitado para Operação e Manutenção

No tratamento do resíduo, quando são utilizadas unidades mecanizadas para o adensamento e/ou desagudamento do lodo, é indispensável pessoal com conhecimentos em eletromecânica para operação e manutenção do equipamento, no caso de tecnologias de aproveitamento como recuperação de coagulantes, incineração, fabricação de blocos cerâmicos e incorporação em matriz de concreto, é indispensável mão-de-obra qualificada, considerando a complexidade dos processos envolvidos nessas técnicas.

Condições Sociais, Econômicas, Culturais, Legislativas e Institucionais da Região

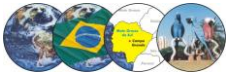
Na seleção do tratamento, do aproveitamento e da disposição do resíduo, devem ser considerados aspectos como: renda *per capita*, costumes, economia, instituições governamentais, disponibilidade de energia e materiais de construção. Neste caso, o conhecimento dos aspectos legais que regem a disposição dos resíduos de ETAs, assim como da visão integrada do problema, torna-se fundamental para definição de estratégias gerenciais de minimizar os resíduos gerados, os custos e os efeitos negativos no ambiente (BARROSO, M. M, *et al.* 2001).

VISÃO SISTÊMICA DA SELEÇÃO DE TECNOLOGIA DE ETRs, DE APROVEITAMENTO E DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NAS ETAs

Na Figura 1 são apresentadas as relações entre os fatores de seleção de tecnologia para tratamento, aproveitamento e disposição dos resíduos gerados nas ETAs, os quais permitem a escolha do sistema com maior perspectiva de sustentação. O esquema (a) usualmente é utilizado para explicar a sustentabilidade em projetos de saneamento (GARCÍA, V. M *et al.* 2000; GALVIS A. *et al.* 1998). Assim, na perspectiva de tratamento de água, devem ser consideradas três dimensões que se entrelaçam: ambiente, tecnologia e comunidade.

O ambiente é o entorno no qual a comunidade gerencia seu desenvolvimento, que pode ser visto como oferta hídrica (qualidade e quantidade da água bruta) e disponibilidade de recursos locais (energia, clima, área e matérias para construção). A comunidade são as pessoas alvo do projeto (operadores e mantenedores do sistema), junto com as que têm influência indireta (indivíduos que contaminam a fonte de abastecimento). Da relação entre ambiente e comunidade surgem os fatores de risco (presença de metais pesados, microrganismos, substâncias orgânicas e inorgânicas na fonte de abastecimento), fruto dos impactos ambientais das atividades antrópicas. Como resposta aos riscos, a comunidade cria as tecnologias que permitem modificá-los e reduzi-los, na busca de gerar água conforme os Padrões de Potabilidade mas, para que as tecnologias sejam eficientes, a comunidade precisa estar motivada para delas apropriar-se (conhecimento da tecnologia e capacidade de projetá-la).

Á esta altura ainda não está garantida a sustentação em projetos de abastecimento de água, porque não foram considerados no esquema (a) o tratamento, o aproveitamento e a disposição adequada do resíduo gerado pela tecnologia (ETA); pode-se “antecipar” que os resíduos das estações aumentariam os impactos das atividades antrópicas, entrando em um ciclo sem fim. Neste contexto, os esquemas (b) e (c) surgem com a finalidade de introduzir os fatores inexistentes com objetivo de tentar fechar o ciclo. No diagrama (b) são consideradas as



características do resíduo, as tecnologias de tratamento e as opções de aproveitamento e de disposição, com suas interações. Da relação entre resíduo e sua disposição surge o risco, o qual pode ser reduzido pela tecnologia, considerados os parâmetros-alvo do tratamento para seu aproveitamento e/ou disposição adequada no ambiente. Depois, no esquema (c) realizam-se avaliações das “soluções prévias” obtidas em (b), considerando as dimensões ambientais, tecnológicas e culturais e sua influência mútua; o resultado obtido volta para o esquema (a) com maiores probabilidades de sustentação, dentro do contexto político, normativo, institucional, econômico e cultural.

Os diagramas (a), (b) e (c) representam a visão sistêmica da sustentação; neste contexto, a seleção da tecnologia das ETAs não pode separar-se das técnicas de tratamento, aproveitamento e disposição de seus resíduos, fato que durante muito tempo tem sido esquecido. A condição ideal seria optar pela escolha de uma ETA que não gere resíduo, mas como isto não é possível; cumpre selecionar aquela que seja eficiente na redução do risco sanitário presente na água bruta, conforme legislação e que produza a menor quantidade de resíduos e apresente facilidades de tratamento, aproveitamento e disposição no ambiente.

CONCLUSÕES

Verifica-se que teoria de sustentação em projetos de saneamento existente até o presente não envolve de maneira clara os fatores associados ao tratamento, aproveitamento e disposição dos resíduos gerados pela ETA. No intuito de melhorar o enfoque do problema foram criados os esquemas (b) e (c) na Figura 1, porém, eles não garantem sustentabilidade da técnica em 100%, uma vez que a tecnologia utilizada pela comunidade para diminuir os impactos no ambiente dificilmente possuirá eficiência total a custo viável.

Estabelece-se que a seleção de tecnologia para tratamento, aproveitamento e disposição do resíduo não deve ser avaliada de forma independente à empregada na ETA. Neste caso a escolha da técnica de tratamento deve ser analisada do ponto de vista sistêmico, considerando que o grau de tratamento do lodo da estação depende, diretamente, do método de aproveitamento e de disposição do resíduo, junto com a qualidade desejada para a parcela líquida a ser re-circulada no início da ETA (se esta possibilidade for considerada).

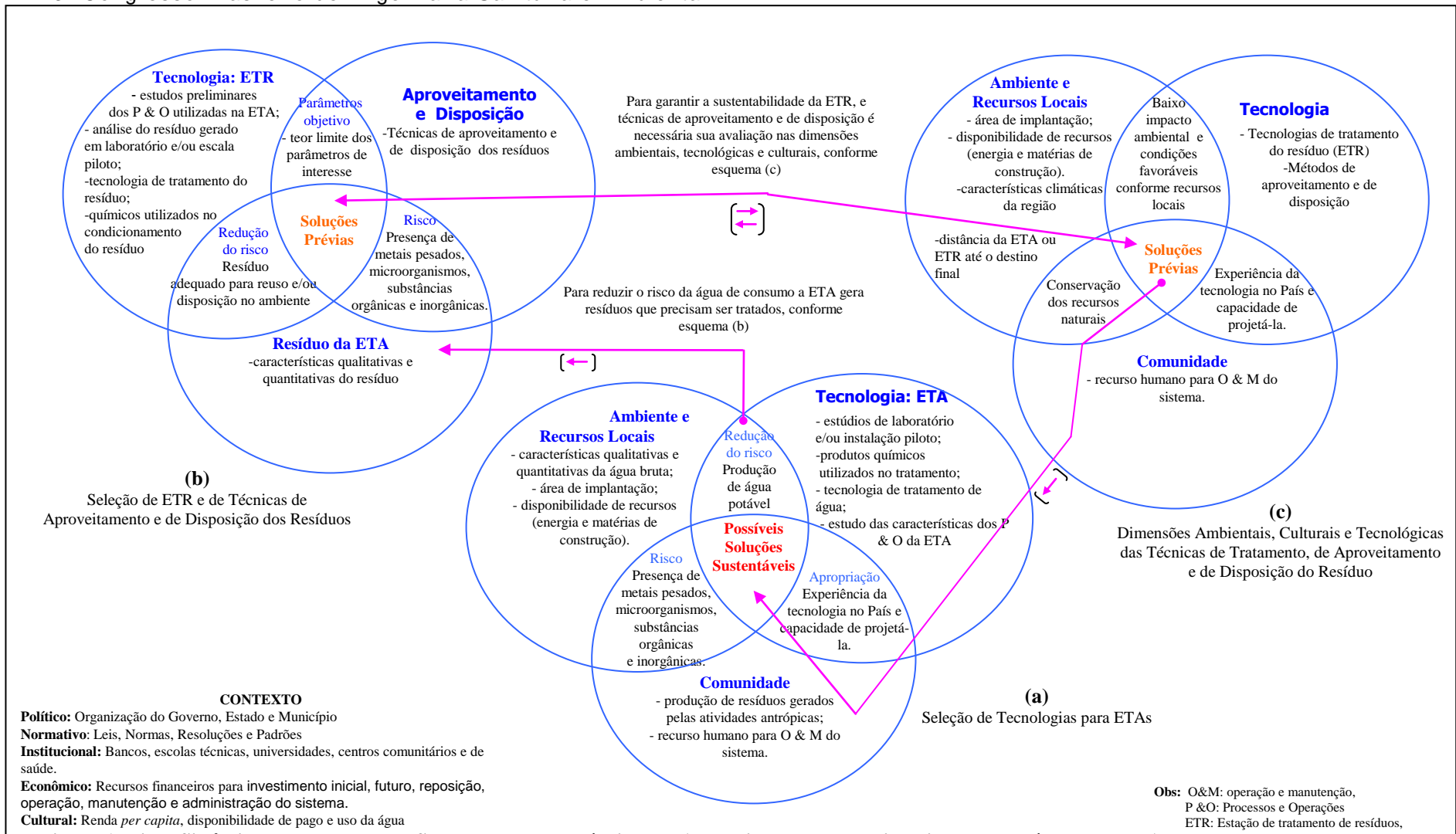
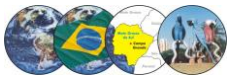


Figura 1. Visão Sistêmica entre Fatores de Seleção de ETR e Técnicas de Aproveitamento e de Disposição dos Resíduos das ETAs.



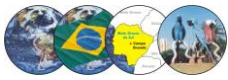
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1996). *Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residual*. New York. 294 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Resíduos Sólidos – Classificação*. NBR 10004. Maio de 2004.
3. BACHE D. H.; PAPAVALOPOULOS E. N (2003) Dewatering of alumino-humic sludge: impacts of hydroxide. *Water Research*. Volume 37, edição 14, Agosto, p. 3289-3298.
4. BARROSO, M.M; CORDEIRO, J.S (2001). *Metais e Sólidos: Aspectos Legais dos Resíduos de Estações de Tratamento de Água*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. João Pessoa. Brasil. Anais Eletrônicos I-064.
5. BARROSO, M.M; CORDEIRO, J.S (2002). *Produção De Sólidos Em ETAs Estudo De Caso - ETA São Carlos (São Paulo/Brasil)*. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México.
6. CASTRO, A. A; DIAS, A. M. V; RENNÓ, C. R. A; CÉSAR, L.A.S; DAMATTOS, M; MONTEIRO, T. A. S (1997). *O problema da Caracterização Qualitativa e Quantitativa dos Efluentes Gerados nas Estações de Tratamento de Água – O Caso da Unidade de Tratamento e Recuperação de Resíduos – UTR do Sistema Rio das Velhas*. Congresso brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19. Anais Eletrônicos II – 059. Foz do Iguaçu. Brasil.
7. CORDEIRO, J. S (1999). *Remoção Natural de Água de Lodos de ETAs Utilizando Leitões de Secagem e Lagoas de Lodo (Cap. 6)*. In: *Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água*. PROSAB. Rio de Janeiro, Brasil. p. 125 – 141.
8. CORNWELL D. A.; BISHOP M. M.; GOULD G. R.; VANDERMEYDEN C. (1987). *Handbook of Practice – Water Treatment Plant Waste Management*. American Water Works Association, Denver, USA.
9. DAVID, A. C; SANTOS, C. M (2004). *Secagem de Lodo da ETA Taiacupeba Disposto na Forma de Leira em Pátio Coberto*. XV Encontro Técnico AESABESP. São Paulo. Anais Eletrônicos. Brasil.
10. DEMATTOS, M., COSTA, G. J., FONSECA, D. A., BRAGA, J. P. C., JANZEN, W. (2001) *Redução do Volume de lodo gerado em estações de tratamento de água – A proposta de recuperação do coagulante pelo processo de acidificação no Sistema Manso 21º Congresso brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Anais Eletrônicos I-047, João Pessoa, Paraíba, Brasil*.
11. DI BERNARDO, SCALIZE, P. S., SOUZA FILHO, A. G. (1999) *Água de Lavagem de Filtros Rápidos (Cap. 7)* In: *Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água*. PROSAB. Rio de Janeiro, Brasil. p. 143 – 168.
12. DI BERNARDO (2005) *Capítulo 17. Resíduos Gerados No Tratamento*. In: *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. 2ª Edição (no prelo).
13. DULIN, B.E., KNOCKE, W.R (1989). *The impact of incorporated organic matter on the dewatering characteristics of aluminum hydroxide sludges*. *Journal American Water Works Association*. May. p. 74-79.
14. FERREIRA FILHO, S.S (1997) *Pré-condicionamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água Visando o seu Adensamento por Gravidade*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19. Foz do Iguaçu. Brasil. Anais Eletrônicos II – 025.
15. FERREIRA FILHO, S.S.; ALÉM SOBRINHO. P. (1998). *Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. V. 3, n. 3. Jul/Set.
16. FREITAS, D. J; MARTÍNES F. M; SCRINHOLI, M (2004). *Implementação do Projeto Piloto de Automação da Descarga de Lodo de Fundo do Decantador 05 da Estação de Tratamento de Água Taiacupeba*. XV Encontro Técnico AESABESP. São Paulo. Anais Eletrônicos.
17. GALVIS, A., VARGAS, V (1998). *Modelo de selección de tecnología en tratamiento de agua para consumo humano*. *Congreso Internacional sobre Agua y Sostenibilidad ÁGUA 98*. Cali. Colombia.
18. GONÇALVES, R. F.; PIOTTO Z. C RESENDE, M. B (1997). *Influência dos Mecanismos de Coagulação da Água Bruta na Reciclagem de Coagulantes em Lodos de Estações de Tratamento de Água*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19. Foz de Iguaçu. Anais Eletrônicos II-049. Brasil.
19. GONÇALVES, R.F.; BRANDÃO, J.T.; BARRETO, E.M.S. (1999). *Viabilidade econômica da regeneração do sulfato de alumínio de lodos de estações de tratamento de águas*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20. Rio de Janeiro, Anais Eletrônicos II-045. Brasil.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

20. GARCÉS, A. F.; DÍAZ, A. J. C.; DELLEPIANE, N. O. M (1996) Acondicionamiento de Lodos Producidos en el Tratamiento de Agua Potable. XXV Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS. México. Memorias Técnicas Electrónicas.
21. GARCÍA, V. M; GALVIS G (2000). Sostenibilidad en Proyectos de Abastecimiento de Agua Seminario Taller Selección de Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad de Agua. Outubro. Cali, Colombia.
22. KAGGWA, R. C.; MULALELO, C. I.; DENNY, P.; OKURUT, T. O. (2001). The impact of alum discharges on a natural tropical wetland in Uganda. *Water Research*, v. 38, n. 3, p. 795-807.
23. KAWAMOTO, P. H; FERREIRA, S.S (2000). Efeito da Oxidação Química no Processo de Condicionamento e Desidratação de Lodos de Estações de Tratamento de Água. Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SILUBESA, IX. Porto Seguro. Bahia. Anais Eletrônicos II –031. Brasil.
24. KNOCKE, W.R. et al. (1987). Effects Of Coagulation on Sludge Thickening and Dewatering, *Journal, AWWA*, June. p. 89-98.
25. LEI Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasil
26. LEI Nº 9.605 de 12 de Fevereiro de 1998. Lei de Crimes Ambientais. Brasil.
27. MACHADO L.C.G.T.; PEREIRA, J. A. R.; CUNHA, M. V. P. O; SILVA, M.N.A; SOUSA, E. C. M (2002). Caracterização do Lodo Gerado nos Decantadores da ETA-Bolonha. Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SILUBESA, VI. Victoria, Espírito Santo. Brasil. Anais Eletrônicos I-020.
28. MENDES, R.L; FERREIRA, S.S; SCIAN, J.B (2001). Adensamento Mecânico de Lodos Gerados em Estações de Tratamento de água. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 21. João Pessoa. Brasil. Anais Eletrônicos I-089.
29. PAN, J.R.; HUANG, C.; CHUANG, Y.C.; WU, C.C. (1998). Dewatering Characteristics of Algae-Containing Alum Sludge. *Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and Engineering Aspects*. p 185 – 190.
30. REALI, M. A. P (1999). Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs (Cap. 2). In: *Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água*. PROSAB. Rio de Janeiro, Brasil. p. 21 – 39.
31. RESOLUÇÃO No 357 de 17 de MARÇO DE 2005. Conselho Nacional Do Meio Ambiente- CONAMA. Ministério Do Meio Ambiente.
32. RICHTER C. A. (2001). *Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água*. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 102 p.
33. SENS, M. L; CARDOSO, M; MELHO FILHO, L. C (2003). Avaliação do Desempeno de Diferentes Tipos de Coagulantes Empregados no Tratamento de Água para Abastecimento Público em Relação ao Volume de Lodo Gerado na Sedimentação. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Joinville. Anais Eletrônicos I-167. Brasil.
34. SILVA, N. I. W; KOCH, J. L; FONSECA, H. B. F (1999). Aproveitamento de Resíduos da Fabricação de Sulfato de Alumínio Líquido na Produção de Bloco Cerâmico. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20. Rio de Janeiro, Anais Eletrônicos III-053. Brasil.
35. SILVA, A. P.; ISSAC, R. L (2002). Adensamento por Gravidade de Lodo de ETA Gerado em Decantador Convencional e Decantador Laminar. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México.
36. SIQUEIRA, S. R (2004). Estudo de Caso: Obtenção da Licencia Ambiental Preliminar para a Implantação de um Aterro Exclusivo das Tortas de Lodo Geradas na Estação de Tratamento de Água Taiacupeba. XIV Encontro Técnico AESABESP. São Paulo. Anais Eletrônicos.
37. SOUZA, C.A (2001). Adensamento Mecânico e Desidratação por Filtro Prensa de Esteira de Lodo Gerando em Estações de Tratamento de Água. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. João Pessoa. Anais Eletrônicos I-090. Brasil.
38. TEIXEIRA, L. C. G. M; FERREIRA FILHO, S. S (1999). Ensaio de Pré-Adensamento em Batelada e Semi-contínuos de Lodos Gerados em Estações de Tratamento de Água. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 20. Rio de Janeiro, Anais Eletrônicos II-008. Brasil.
39. TSUTIYA, M.T; HIRATA. A. Y (2001) Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água do Estado de São Paulo. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. João Pessoa. Brasil. Anais Eletrônicos I-025.
40. WU, C. C; HUANG, C; LEE, D. J. (1997) Effects of polymer dosage on alum sludge dewatering characteristics and physical properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 122, Edição 1-3, 14 Abril, p. 89-96.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

41. ZHAO, Y.Q; BACHE, D. H (2001) Conditioning of alum sludge with polymer and gypsum Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 194, Edição 1-3, Dezembro, p. 213-220.
42. ZHAO, Y.Q; BACHE, D. H (2002). Polymer Impact on Filter Blinding During Alum Sludge Filtration. Water Research. Volume 36, Edição. 15. Setembro, p. 3691-3698
43. ZHAO Y. Q (2003) Correlations between floc physical properties and optimum polymer dosage in alum sludge conditioning and dewatering. Chemical Engineering Journal, Volume 92, Issues 1-3, 15 April, p. 227-235.