

## **GESTÃO AMBIENTAL EM SANEAMENTO: UMA REVISÃO DAS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DO LODO DE ETA E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS**

**Cynthia Franco Andrade (\*), Cristina Mendes Silva, Fernanda de Cássia Oliveira**

\* Engenheira ambiental e Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E-mail: cynfranco@gmail.com.

### **RESUMO**

A potabilização da água é uma necessidade, contudo esse processo gera resíduos que precisam ser gerenciados de maneira apropriada. Buscando soluções economicamente viáveis e ambientalmente aceitáveis, estudos têm sido desenvolvidos a fim de propiciar a escolha da melhor alternativa para tratamento e disposição final do lodo de ETAs. Assim, como resultado do trabalho, baseado na revisão da literatura, foi verificado a necessidade de análises de laboratório ou em escala-piloto para seleção da melhor técnica de tratamento do lodo e a importância da análise conjunta de todas as etapas do processo para o seu adequado gerenciamento. Além disso, apuradas as formas de disposição de lodo adotadas no Brasil, foi averiguado que a maior parte do lodo gerado em ETAs é lançada em corpos d'água, e que essa prática causa impactos ao meio ambiente e à saúde humana.

**PALAVRAS-CHAVE:** lodo de ETA; disposição final de lodo; tratamento de lodo

### **1. INTRODUÇÃO**

O controle da poluição das águas é essencial para a saúde da população humana, assim como para o meio em que essa se insere. Uma importante questão ambiental que vem sendo pesquisada atualmente, e um dos principais problemas enfrentados pelos grandes centros urbanos, é o processo de disposição final para o lodo gerado nas estações de tratamento de água (ETA).

Com o incremento populacional vem aumentando o consumo de água potável, sendo necessário o tratamento de uma maior vazão de água para suprir toda a demanda da população. Com a deterioração da qualidade da água, torna-se necessário o uso de coagulantes para garantir que a água tratada atenda aos padrões de potabilidade da Portaria nº 2.914/2011, levando a um aumento da geração de lodo dentro da estação.

De acordo Fontana (2004), o lodo é gerado de duas maneiras: primeira devido à sedimentação dos flocos que ocorre nos decantadores, onde ficam retidos por dias ou até meses, de acordo com o sistema de descarga. E a outra forma de produção de lodo é devido à parte dos flocos que não se sedimentaram nos decantadores, e que seguem para a etapa de filtração, onde são retidos. Durante a limpeza dos decantadores, por processos mecanizados ou manuais, e dos filtros por lavagem, o lodo é removido e encaminhado para o processo de desidratação e disposição. Assim, a geração do lodo ocorre nos decantadores e na lavagem dos filtros.

Os lodos possuem características variadas, dependendo fundamentalmente das condições apresentadas pela água bruta, da dose e tipo de produtos químicos utilizados, e da forma de limpeza dos decantadores. Com a produção de uma grande quantidade de resíduos, as ETAs precisam dispor de forma correta todo o lodo para atender a legislação ambiental.

No Brasil, a maior parte das estações lançam seus resíduos sem nenhuma forma de tratamento, diretamente no corpo d'água mais próximo à estação, ocasionando assoreamento e deterioração da qualidade da água dos rios e lagos.

Atualmente é necessário fazer novas buscas por tecnologias de tratamento do lodo e determinar formas diferenciadas de disposição, de maneira a causar o menor impacto possível no meio ambiente e atender as legislações ambientais.

A procura por soluções para minimizar os impactos e viabilizar a disposição adequada dos resíduos da ETA, levou ao desenvolvimento de várias tecnologias. No entanto, a escolha da melhor tecnologia depende das características qualitativa e quantitativa do lodo, e das condições climáticas, sendo que cada estação terá um lodo com características distintas (FONTANA, 2004). Pode-se acrescentar a estes fatores, segundo Reali (1999), a área necessária para implantação, custo da área, distância da estação até o destino final, custo dos equipamentos, operação, preparo de

recursos humanos para preparação e a necessidade de condicionamento do lodo.

De acordo com Fontes (2008), a grande preocupação em dispor corretamente o lodo das ETA está na presença de metais na composição desse resíduo e no aumento do volume de chorume gerado durante o processo de degradação quando o lodo é disposto em aterros sanitários, contribuindo para a geração de impactos adversos ao meio ambiente (água, solo, flora e fauna) e à saúde da população, quando depositados de forma inadequada.

Muito se tem estudado sobre as alternativas de disposição do lodo de ETA, como: insumo na agricultura, disposição em aterro sanitário, incineração, uso na fabricação de cerâmica, recuperação de área degradada e recuperação do coagulante. No entanto, ainda existem lacunas sobre a melhor maneira de dispor estes resíduos, de forma que cause o menor impacto ambiental possível, devido às diversas características do lodo gerado.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo principal desse artigo é fazer uma revisão bibliográfica concernente ao tema lodo de ETA, de forma a reunir os principais dados de pesquisas realizadas de maneira concisa em um único documento, e assim contribuir para uma gestão mais adequada desse resíduo. Como objetivos específicos têm-se:

- Levantar a situação brasileira em relação à disposição final do lodo de ETA;
- Identificar as possíveis formas de tratamento do lodo de ETAs e sua adequabilidade à diferentes circunstâncias;
- Levantar os diferentes tipos de disposição de lodos de ETAs e seus aspectos positivos e negativos;
- Apresentar os principais impactos causados pelo lançamento do lodo de ETAs in natura no meio ambiente.

## **3. METODOLOGIA**

O lodo gerado em ETAs é um resíduo e há diversas alternativas para sua disposição, mas para isto, o lodo precisa ser tratado. Assim como ocorre com outros resíduos, a disposição inadequada pode acarretar em diversos impactos ambientais e danos à saúde humana.

Para a realização deste estudo foi enfatizada a geração do lodo de ETA no Brasil e para mensurar a atual conjuntura, foram levantados dados secundários em relação à disposição final do lodo de ETAs.

Após a revisão da literatura, foram selecionadas algumas das diversas formas de tratamento e disposição final do lodo de ETA para serem explicitadas quanto à viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Além disso, foi realizado um apanhado quanto aos impactos ao meio ambiente e a saúde humana que podem ser ocasionados pela gestão inadequada do lodo de ETA.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1. TRATAMENTO DO LODO DE ETA**

Os resíduos gerados em ETAs, segundo Cordeiro (1999), caracterizam-se por possuírem grande umidade, geralmente maior que 95%, estando, de maneira geral, sob forma fluida. O autor chama a atenção para o fato de que a redução do seu volume propicia uma disposição mais adequada, a redução do custo de transporte e de disposição final, e minimiza os riscos de poluição do meio ambiente.

Reali (1999) observa que as estratégias de tratamento e disposição final de lodos de ETAs envolvem diversas opções e técnicas cujas pertinências são grandemente influenciadas, dentre outros fatores, pelas características do lodo, área disponível, clima local; e condições socioeconômicas, culturais e ambientais da região onde se pretende implantar o sistema de tratamento de lodo.

Normalmente, a primeira etapa dos sistemas de tratamento de lodo gerados em ETAs convencionais é o seu espessamento ou adensamento, que é um processo preparatório para o seu posterior condicionamento e desidratação final. Reali (1999) relata que essa etapa objetiva a separação de parte da água mais facilmente removível do lodo com

vistas à diminuição do volume desse lodo e, conseqüentemente, possibilita a redução no tamanho dos equipamentos utilizados na etapa subsequente de desidratação final do lodo, cujos custos de implantação e de operação (energia, manutenção, etc.) dependem do volume e das características do lodo a ser desidratado.

Para Ferreira Filho (1997), o adensamento é uma das mais importantes operações unitárias do processamento de tratamento da fase sólida, pois, de modo geral, os equipamentos de desidratação mecânica existentes no mercado recomendam uma concentração de ST no lodo de entrada na ordem de 2% para que o seu funcionamento ocorra de forma adequada.

O espessamento pode ser efetuado em unidades de sedimentação (espessamento por gravidade), em unidade de flotação por ar dissolvido (espessamento por flotação) ou em espessadores mecânicos de esteira.

Reali & Patrizzi (1999) informam que, embora o uso de adensadores por gravidade seja mais antigo e disseminado em vários países do mundo, a alternativa de espessamento por flotação vem conquistando a simpatia dos projetistas. Tal fato ocorre devido a algumas vantagens inerentes ao espessamento de alguns tipos de lodo por flotação em relação ao procedimento de sedimentação, podendo-se citar: maiores taxas de aplicação de sólidos e de clarificação (unidades mais compactas), maiores concentrações de sólidos no lodo espessado por flotação e maior versatilidade operacional da instalação devido à possibilidade de controle da qualidade de ar fornecida para flotação. Contudo, enfatizam que a escolha do tipo de unidade de espessamento de lodos de ETAs deve sempre se pautar em resultados de ensaios de laboratórios, ou escala-piloto, pois o desempenho de qualquer processo de espessamento dependerá das características do lodo considerado, as quais podem variar significativamente de uma ETA para outra.

Guimarães (2007), ao realizar experimentos de desidratação em centrífuga de lodos das ETAs Brasília e Descoberto, obtidos em adensamento por flotação e sedimentação, observou que, embora esses lodos apresentassem características distintas, essas diferenças não refletiram na maior ou menor desidratabilidade de um lodo de mesma origem durante o processo de centrifugação.

Como espessadores são utilizados tanto em ETAs quanto em estações de tratamento de esgoto (ETE), uma opção que pode ser avaliada para uma ETA que não possua esse tipo de unidade implantada é o direcionamento e tratamento do seu lodo em uma ETE. Peixoto (2008) estudou o espessamento de um lodo de ETA através de sua aplicação no adensador por gravidade de uma ETE piloto, e demonstrou que com adoção de uma carga de 200 mg.L<sup>-1</sup> esse procedimento pôde ser realizado sem causar problemas. Contudo, Tsutiya & Hirata (2001) alertam que os sólidos dissolvidos presentes nos lodos de ETAs, em determinadas concentrações podem inibir o processo biológico de tratamento de esgoto e recomendam a equalização da descarga de acordo com as vazões afluentes à ETE, para que as concentrações de compostos potencialmente tóxicos permaneçam constantes.

Para proporcionar uma melhoria na desidratabilidade do lodo podem ser empregados diferentes tipos de produtos químicos em distintas dosagens. Ferranti (2005) estudou o condicionamento químico do lodo de ETAs com resíduo de cal antes do seu lançamento em leitos de secagem e verificou que esse resíduo favoreceu uma rápida desidratação. No seu experimento um dos resultados que esse autor obteve foi o de que para leitos com 10% de resíduo de cal o tempo gasto para drenar 90% do total de água coletada (1,5 horas) foi 40 vezes menor se comparado ao tempo gasto pelos leitos que não continham cal (60 horas).

Di Bernardo et al. (1999) avaliaram a tratabilidade de resíduos produzidos na ETA Descalvado, situada na cidade de Descalvado em São Paulo, e verificaram que com uso de polímero foi obtido um lodo com maior facilidade de desaguamento por centrifugação. Ferreira Filho (1997) investigou as características do pré-condicionamento de lodo de ETAs visando seu posterior adensamento por gravidade e desidratação e concluiu que a escolha do polímero mais adequado para fins de adensamento é algo extremamente específico, devendo a sua seleção e dosagem serem definidas com base em ensaios experimentais.

ASCE & AWWA (1996) apud Sabogal & Di Bernardo (2005) relataram que o tratamento do lodo realizado unicamente por adensamento, inviabiliza sua disposição em aterro, dada a dificuldade na sustentação dos equipamentos e taludes, devido à baixa concentração de sólidos  $\leq 8\%$ . Sabogal & Di Bernardo (2005) acrescentam ainda que este fato também limita sua utilização como matéria-prima na fabricação de cerâmica e na incorporação em matriz de concreto, embora essa baixa concentração de sólidos possa ser recomendável para disposição desses resíduos em ETEs ou recuperação de solos agrícolas, dependendo das características qualitativas e quantitativas dos resíduos. Logo, dependendo da disposição final que se pretende dar ao lodo de ETAs, pode ser necessária, após o adensamento, a aplicação de outra

tecnologia de desaguamento, a fim de aumentar a concentração de sólidos totais e, conseqüentemente, reduzir de forma mais significativa o volume de lodo.

Achon et al. (2008) relatam que as tecnologias para redução do volume de lodo produzido nas ETAs, mediante remoção da água livre e nos interstícios dos sólidos, podem ser classificadas como: sistemas mecânicos (centrífugas, filtros-prensa, prensa desaguadora, filtros a vácuo) e sistemas naturais (lagoas de lodo e os leitos de secagem). Esses autores destacam o grande potencial de aplicação de sistemas naturais no Brasil, devido à disponibilidade de área e às condições climáticas favoráveis. Entretanto, enfatizam que no caso de adoção de lagoas de lodo o tempo necessário ao desaguamento pode ser de meses, sendo com relação a esse aspecto, os leitos de secagem mais atrativos.

Objetivando melhorar ainda mais o desempenho do leito de secagem, Cordeiro (2001) propôs uma alteração da sua estrutura convencional (camada filtrante de areia e camada suporte de brita), sendo que o leito modificado, denominado leito de drenagem, é constituído por uma camada de 5 cm de brita 1, coberta por uma manta geotêxtil. Com esse novo arranjo, o autor verificou que o tempo de drenagem de água livre diminuiu bruscamente. Achon et al. (2008) utilizaram o protótipo do leito de drenagem desenvolvido por Cordeiro (2001) para o desaguamento do lodo de ETAs que empregavam sulfato de alumínio e cloreto de polialumínio como coagulantes, e obtiveram redução de volume da ordem de 83 e 87%, respectivamente, no sétimo dia de aplicação, sem consumo de energia e adição de produtos químicos.

Os sistemas mecânicos para redução do volume do lodo são alternativas atraentes a serem adotadas, em detrimento de sistemas naturais, principalmente quando não se tem grande disponibilidade de área para tratamento e o clima local não favorece a perda de água do lodo pelo processo natural de evaporação.

Richter (2001) apud Tartari (2008) fez um levantamento de generalidades práticas, aplicações, limitações e custo relativo de tecnologias de desidratação mecânica do lodo. Dentre os aspectos mencionados por esse autor, destacam-se os seguintes pontos: i) a prensa desaguadora é apropriada para secagem de lodos provenientes de coagulação de água, sua eficiência é sensível às características da suspensão e essa tecnologia apresenta um baixo custo relativo; ii) a centrífuga de tambor funciona paralelamente com o uso de polímeros no condicionamento, o tambor está sujeito a abrasão e trata-se de uma técnica de custo relativo médio; iii) o filtro prensa é utilizado para desidratar sedimentos finos, a técnica necessita da aplicação de cinza de cal e apresenta custo elevado e; iv) o filtro rotativo a vácuo não funciona bem com lodos leves, é mais indicado para desidratar sedimentos finos granulares, é o método menos eficaz de filtração e possui um custo relativo muito alto.

Sobogal-Paz & Di Bernardo (2005) concluíram em sua pesquisa que 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 recirculada no início da ETA (se esta possibilidade for considerada).

## **4.2. DISPOSIÇÃO DO LODO DE ETA**

As ETAs que utilizam o tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação e filtração), transformam a água inadequada ao consumo humano em um produto em acordo com o padrão de potabilidade, para isso são necessários processos e operações que geram resíduos (REALI, 1999).

No Brasil, a maior preocupação tem sido em relação aos resíduos gerados em estações de tratamento de esgoto (ETEs), enquanto pouco tem sido discutido em relação aos rejeitos gerados em ETAs, como o lodo (CORDEIRO, 2001).

De acordo com a NBR 10.004, o lodo é classificado como resíduo sólido, não sendo permitido seu lançamento in natura em águas superficiais. No entanto, no Brasil essa prática é realizada pela maioria dos sistemas de tratamento de água, promovendo impactos ambientais diversos.

Segundo IBGE (2010), dos 5.564 municípios brasileiros, 2.098 produzem lodo no processo de tratamento da água. As destinações desse lodo gerado são apresentadas na Figura 1. É importante ressaltar que um município pode dar mais de um destino ao lodo gerado.

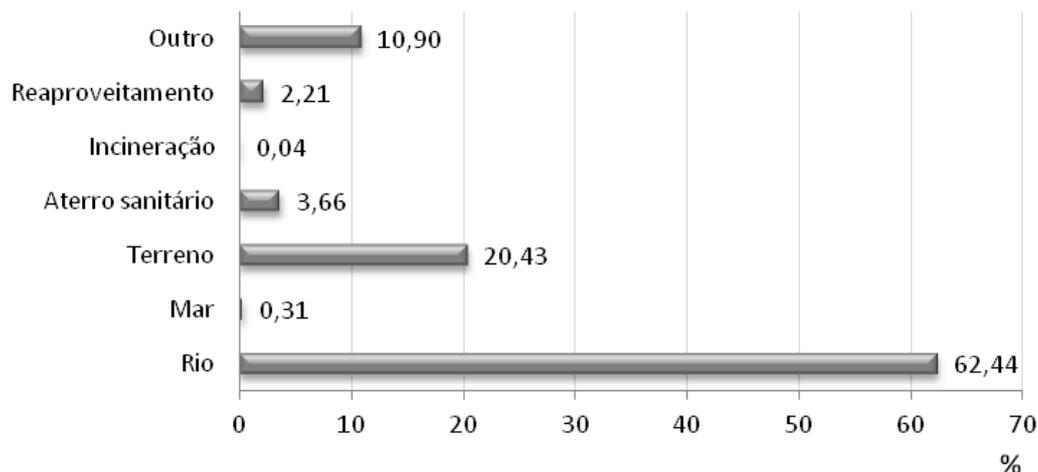


Figura 1: Destinação do lodo dos municípios brasileiros em percentual. Fonte: Adaptado IBGE, 2010.

Observa-se que o percentual de municípios brasileiros que destinam o lodo em rios corresponde a 62,44%. Esse percentual mostra que um grande volume de lodo vem sendo lançado nos rios brasileiros, o que interfere na qualidade das águas, podendo causar diversos impactos.

Dentre os municípios que destinam o lodo gerado em rios, a região sudeste é a que contribui com o maior número de municípios, seguida da região sul, conforme a Tabela 1. Essas duas regiões são as que possuem a maior demanda por água e consequentemente as que produzem a maior quantidade de água tratada e lodo.

Tabela 1: Municípios que destinam o lodo gerado no tratamento de água em rios. Fonte: Adaptado IBGE, 2010.

Região	Nº de municípios que geram lodo	Nº de municípios que destinam o lodo em rios
Brasil	2.098	1.415
Norte	84	46
Nordeste	537	231
Sudeste	896	703
Sul	442	330
Centro-Oeste	139	105

Segundo Achon et al. (2012), em um estudo realizado sobre as 23 ETAs da sub-bacia do rio Piracicaba em São Paulo, que é pioneira na gestão de recursos hídricos, a forma de destinação que prevalece é a disposição in natura do lodo nos corpos d'água, sendo que 73% do lodo é lançado nos corpos receptores sem tratamento prévio, 23% das ETAs não disponibilizaram esta informação e somente 4% enviam o lodo para aterro, após desaguamento.

Ainda de acordo com Achon et al. (2012), as informações sobre o lodo gerado na maioria das ETAs não é, sequer, efetivamente medido e quantificado, o que dificulta ações de melhoria da gestão deste resíduo e a avaliação de impactos ambientais advindos da disposição inadequada.

Segundo Owen (2002), as principais características que distinguem o lodo de outros resíduos são: a capacidade de suportar a vida vegetal, a capacidade de retenção de água e o conteúdo de ferro e alumínio.

Com base nesses aspectos, podem ser citadas algumas técnicas de disposição final: aplicação em solos agrícolas, recuperação de áreas degradadas, material de construção, materiais cerâmicos, recuperação do coagulante, disposição em ETE, disposição em aterro, dentre outras. No Brasil, tais alternativas ainda são pouco empregadas.

#### **4.2.1. APLICAÇÃO EM SOLOS AGRÍCOLAS**

A aplicação em solos agrícolas é umas das possíveis formas de disposição do lodo de ETA. Como o sulfato de alumínio é bastante utilizado como coagulante nas ETAs, os possíveis efeitos que ele pode causar têm sido um ponto central nas pesquisas sobre a aplicação do lodo em solos agrícolas.

Segundo Malavolta (1980) é muito antiga a literatura que apresenta os efeitos tóxicos do alumínio nas plantas e atribuindo, em parte, o efeito benéfico da calagem à neutralização desse elemento. O aumento da concentração desse elemento no substrato reconhecidamente provoca diminuição na absorção do fósforo.

A toxicidade do alumínio é um dos mais importantes fatores que limitam a produtividade das culturas em solos ácidos, os quais compreendem mais de 40% das terras aráveis do mundo. No Brasil, aproximadamente 1,8 milhão de km<sup>2</sup> de solos, sob vegetação de cerrado, caracteriza-se por apresentar forte acidez, deficiência extrema de fósforo, cálcio, magnésio e níveis elevados de alumínio e manganês. A baixa produtividade e a baixa resposta de muitos desses solos à fertilização têm sido, em grande parte, atribuídas à presença de alumínio em concentrações tóxicas (BONATO, 2000).

Diante dos possíveis efeitos causados pelo alumínio, para a aplicação de lodos de ETAs em solos agrícolas é necessária a realização de análises, principalmente quando o coagulante utilizado no tratamento for o sulfato de alumínio.

#### **4.2.2. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

A utilização do lodo de ETA para a recuperação de áreas degradadas é uma alternativa viável, desde que sejam realizadas análises para identificar os efeitos causados ao solo e as plantas.

Segundo Teixeira (2005), o lodo de ETA pode ser disposto em áreas degradadas, pois eleva os teores de macronutrientes e o valor do pH do solo. Em altas doses pode causar a salinidade do solo. Para fins de recuperação, sua aplicação deve estar associada a um resíduo orgânico, como composto de serragem e esterco bovino, entre outros.

Silva (2005), utilizando lodo de ETA em estudos de recuperação de área degradada por mineradora de cassiterita, verificou aumento do pH do solo e dos teores de Ca e Fe. O autor relata que o uso do lodo de ETA como fertilizante pode ser viável porque contém determinados nutrientes às plantas. No entanto o nitrogênio não deve ser utilizado como critério para definir as doses de aplicação, já que este se encontra em pequena quantidade neste tipo de resíduo.

#### **4.2.3. MATERIAL DE CONSTRUÇÃO**

A construção civil é um setor que apresenta um consumo elevado de recursos naturais e a utilização do lodo de ETA pode ser uma alternativa benéfica para mitigar tal consumo. Pesquisas têm sido realizadas a fim de verificar a adequabilidade dos produtos para construção gerados com adição de lodo de ETAs em relação às normas pertinentes.

Sartori & Nunes (1999) procederam à caracterização do lodo da ETA do Rio das Velhas, verificando que as características possibilitam que se enquadrem na categoria de siltes e argilas. Os lodos apresentaram características de materiais plásticos, com pesos específicos entre 27 e 28 kN/m<sup>3</sup>, altos valores de umidade ótima e valores de peso específico aparente seco de 1,33 g/cm<sup>3</sup> e 1,28 g/cm<sup>3</sup>, para o ensaio de compactação Proctor Normal. Em virtude de suas características, esses lodos podem servir para a fabricação de solo-cimento, materiais cerâmicos, pigmentos para argamassas e revestimentos ou como aditivo para agregados.

Sales & Cordeiro (2001) reuniram os rejeitos advindos do lodo de ETAs em conjunto com os resíduos de construção, no intuito de estudar formas de utilização dos mesmos. Em função dos resultados das análises e ensaios realizados, pode-se afirmar a possibilidade de aproveitamento da reciclagem conjunta dos resíduos em aplicações como o concreto para contrapiso, argamassa de assentamento não estrutural e blocos de concreto não estrutural.

Em estudo semelhante, incorporando lodo de ETA a concretos, em substituição parcial do agregado miúdo, Hoppen et al. (2006) mencionou a possibilidade de uso desse material também como concreto estrutural, entretanto destacaram o não conhecimento do seu desempenho ao longo do tempo, e desta forma direcionaram a sua utilização apenas a concretos não estruturais. Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de outras pesquisas nesta linha para verificar se é possível a utilização desse material também com função estrutural, o que agregaria maior valor ao mesmo.

Silva (2009) analisou a incorporação de lodo de ETA na fabricação de tijolos de solo-cimento, e nos tijolos nos quais incorporou 3 e 5% de lodo obteve características construtivas dentro da NBR 10.836/1994.

#### 4.2.4. MATERIAL CERÂMICO

Segundo Raupp-Pereira et al. (2005) apud Vitorino et al. (2009), a agregação de resíduos de diversas atividades em produtos cerâmicos argilosos é uma alternativa tecnológica que pode contribuir para a redução do impacto ambiental causado por estes.

Durante a queima da cerâmica pode ocorrer a inertização de materiais potencialmente tóxicos por volatilização, transformação química e estabilização na fase vítrea que se forma pela participação de alumina silicatos e fundentes na massa cerâmica. Dependendo da quantidade e da característica do resíduo, essa incorporação pode, inclusive, melhorar o processamento cerâmico, a qualidade da cerâmica e ainda, contribuir para a redução do gasto energético na etapa de queima e na redução do consumo de argilas, recurso natural utilizado como matéria prima na confecção de cerâmica (RAUPP-PEREIRA et al. 2005 apud VITORINO et al. 2009).

Aléssio & Teixeira (2005) afirmam que o lodo gerado em ETAs, principalmente o proveniente de água de superfície, pode ser incorporado à massa cerâmica devido a sua composição mineralógica sem alterar de forma significativa as propriedades físicas das peças produzidas.

A incorporação do lodo gerado em ETAs na massa cerâmica pode reduzir a temperatura de queima, devido à fração orgânica, e consequentemente reduzir a energia total requerida durante o processo. Além disso, os hidróxidos metálicos presentes no lodo reduzem a porosidade e, no caso dos lodos férricos, aumentam a intensidade da cor vermelha dos tijolos e telhas (OWEN, 2002).

Couto (2011) demonstrou que há possibilidade da utilização do lodo na fabricação de materiais cerâmicos desde que o teor máximo de lodo não ultrapasse 10%, pois observou que com concentrações maiores houve comprometimento das propriedades físicas e mecânica do material.

#### 4.2.5. RECUPERAÇÃO DO COAGULANTE

De acordo com Gonçalves et al. (1999), a alternativa de recuperação do coagulantes permite minimizar os custos e os problemas associados à disposição final do lodo, pois além de diminuir o volume a ser descartado, promove a reciclagem dos produtos químicos dosados no tratamento. A redução dos custos pode chegar a valores próximos de 45%.

Entorno de 35 a 45% dos sólidos presentes no lodo são hidróxidos e qualquer que seja o tipo de regeneração, a etapa inicial será a solubilização dos hidróxidos precipitados. Os processos se diferenciam na forma pela qual os compostos solúveis serão separados dos materiais inertes (GONÇALVES et al., 1999).

As opções tecnológicas que se encontram disponíveis para a realização da recuperação de coagulantes de lodos de ETAs são: recuperação pela via ácida, recuperação pela via alcalina, extração com solventes orgânicos e extração com quelantes. Dentre as quatro, a que alcançou o maior desenvolvimento industrial foi a recuperação pela via ácida (GONÇALVES et al., 1999).

#### 4.2.6. DISPOSIÇÃO EM ETE

Segundo Di Bernardo et al. (1999), um método de disposição do lodo gerado nas ETAs, que tem sido observado em alguns países da Europa e nos Estados Unidos, é o seu lançamento nas estações de tratamento de esgoto (ETEs), via rede coletora de esgoto ou por meio de transporte em caminhão. Tal alternativa torna-se atraente, pois elimina a implantação de um sistema de tratamento nas próprias ETAs. No entanto, o que ocorre é a transferência do gerenciamento para a administração das ETEs.

Para a realização de tal procedimento são necessárias análises criteriosas para avaliar as possíveis interferências que podem ocorrer nas unidades da ETE devido às características do lodo gerado e do incremento da vazão (DI BERNARDO et al., 1999).

Rosário (2007) em seu trabalho, no qual analisou em escala piloto o impacto do lançamento dos resíduos de uma ETA em uma ETE operando com reator UASB, constatou que a disposição do lodo em um reator UASB não interfere prejudicialmente no desempenho operacional do mesmo.

#### **4.2.7. DISPOSIÇÃO EM ATERRO**

A alternativa de disposição dos lodos de ETAs em aterros é sempre recomendada por ser comprovadamente viável tecnicamente e possuir regulamentação pelas legislações ambientais vigentes. Mesmo adotando-se outras formas de disposição, propõe-se sempre prever a utilização de aterros sanitários como opção de armazenamento dos lodos, pois pode haver necessidade de sua utilização nos casos de variações bruscas na quantidade ou qualidade dos lodos (JANUÁRIO & FERREIRA FILHO, 2007).

Para a disposição do lodo de ETA em aterros é necessária a análise da interação das substâncias químicas presentes na composição do lodo de ETA com os resíduos de origem predominantemente doméstica (POHLAND & GOULD, 1986).

#### **4.3. IMPACTOS DO LODO DE ETA**

No Brasil, a maior parte das estações lançam seus resíduos sem nenhuma forma de tratamento diretamente no corpo d'água mais próximo à estação, ocasionando assoreamento e deterioração da qualidade da água dos rios e lagos.

De acordo com Reali (1999) a toxicidade potencial dos lodos de ETA, para plantas, seres humanos e organismos aquáticos, depende de fatores tais como: características da água bruta, produtos químicos utilizados no tratamento, possíveis contaminantes contidos nesses produtos, reações químicas ocorridas durante o processo, forma de remoção e tempo de retenção dos resíduos dos decantadores, características hidráulicas, físicas, químicas e biológicas do corpo receptor.

As águas naturais utilizadas como mananciais estão sujeitas à contaminação por formas naturais decorrente da ação da água sobre as rochas e também sobre o meio, tais como: aplicação de fertilizantes e pesticidas e disposição de resíduos sanitários e industriais. Esse aspecto é de grande importância, pois esses podem estar presentes nos resíduos gerados (CORDEIRO & CAMPOS, s/d).

A grande preocupação em dispor corretamente o lodo das ETAs, está na presença de metais na composição desse resíduo e no aumento do volume de chorume gerado durante o processo de degradação quando o lodo é disposto em aterros sanitários, contribuindo para a geração de impactos adversos ao meio ambiente (água, solo, flora e fauna) e à saúde da população, quando depositados de forma inadequada (FONTES, 2008).

O lançamento do lodo em corpos receptores, devido a sua concentração, ao tamanho das partículas dispostas e a baixas velocidades de escoamento do rio a jusante do lançamento, pode levar a sedimentação das partículas sobre a camada bentônica, inibindo o crescimento de várias espécies de peixes e outros organismos aquáticos (CORDEIRO, 2002).

Estudos realizados por Achon et al. (2005), sobre o descarte do lodo in natura da ETA São Carlos – SP, no rio Monjolinho, mostraram que a grande concentração de metais (Al e Fe) comprometeu a camada bentônica.

A elevada quantidade de sólidos, a alta turbidez, as altas concentrações de metais, a alta DQO são classificados por Achon et al. (2005) como os principais parâmetros que comprometem o lançamento de lodo nos corpos receptores. Com base nisto, outros impactos relevantes sofridos pelo rio Monjolinho foram: depleção da concentração de oxigênio dissolvido, alteração da biota aquática, mortalidade da comunidade bentônica de invertebrados, mortalidade de peixes e redução do volume útil do rio.

Estudos realizados por Machado et al. (2005) chegaram as mesmas conclusões, a descarga de lodo com altos teores de alumínio no corpo receptor causa toxicidade do meio aquático. A carga orgânica contida no lodo pode contribuir para o

consumo de oxigênio no corpo d'água, levando a condições anaeróbias, produção de maus odores e mortandade de peixes e algas, além de afetar a camada bentônica.

Assim, os lançamentos destes efluentes contribuem para aumentar a degradação dos corpos d'água e desrespeitam a DN conjunta COPAM/CERH nº 01 (MINAS GERAIS, 2008) e a Lei de Crimes Ambientais nº 9.605 (BRASIL, 1998). Sendo necessário o conhecimento dos aspectos legais para definição de estratégias gerenciais que objetivem a minimização de resíduos gerados e o aproveitamento e disposição dos resíduos, sem o detrimento da qualidade dos corpos receptores.

## 5. CONCLUSÕES

Nas ETAs, assim como em outras indústrias, as responsabilidades deixaram de estar relacionadas exclusivamente à produção do produto final, no caso, água potável, e passou-se a dar uma maior atenção aos resíduos gerados, dadas as atuais restrições legais do lançamento in natura dos lodos de ETAs em corpos d'água, embora esta ainda seja a alternativa mais adotada em território nacional.

Assim, vários estudos estão sendo realizados com o objetivo de propiciar tratamento e destinação adequada a esse resíduo, de maneira a até mesmo reaproveitá-lo, portanto, transformá-lo de rejeito em recurso, sendo para isso, considerados aspectos técnicos, econômicos, ambientais, legais, sociais e culturais.

Dada a grande variabilidade das características do lodo e das situações nas quais ele pode ser gerado, diversas pesquisas demonstraram que, em se tratando da seleção da técnica de tratamento, cada caso deve ser analisado individualmente, por meio de ensaios de laboratório ou em escala-piloto.

Além disso, não se deve pensar na etapa de tratamento do lodo isoladamente, um dos motivos é devido ao fato que o nível de tratamento necessário vai depender do tipo de disposição final escolhido. Logo, é imprescindível uma análise sistêmica da situação levando em consideração todos os aspectos pertinentes.

Dentre as alternativas de disposição final, algumas ainda exigem muita cautela e análises mais criteriosas para sua adoção, como é caso do uso do lodo na recuperação de áreas degradadas para qual é recomendada análise dos efeitos causados no solo e nas plantas; do uso do lodo em solos agrícolas em que há de se verificar os possíveis efeitos do alumínio; da destinação do lodo das ETAs às ETEs, em que deve-se analisar um possível comprometimento do desempenho operacional da ETE e; no caso de disposição em aterros, para qual recomenda-se a análise da interação das substâncias químicas presentes na composição do lodo com resíduos domésticos.

Outras opções de disposição têm se mostrado além de ambientalmente corretas, tecnicamente viáveis, podendo-se citar a incorporação do lodo na fabricação de materiais da construção civil e cerâmicos. Algumas se apresentam atraentes também do ponto de vista econômico, como no caso da recuperação do coagulante. Contudo, a busca de soluções, economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas, para o tratamento e disposição final de lodos de ETAs, continua sendo um grande desafio em todos os países, principalmente no Brasil, onde esse assunto ainda está no seu início.

Na realidade, essas alternativas de disposição ainda não são, efetivamente, muito empregadas no Brasil, onde a maior parte do lodo gerado é lançada nos rios. E, conforme já comprovado essa prática acarreta impactos ambientais nos corpos receptores e a legislação em vigor a proíbe. Logo deve-se evitar tal prática e continuar investindo em estudos sobre tratamento, disposição e impactos do lodo de ETAs em corpos d'água a fim de se propiciar a uma gestão cada vez mais adequada desses resíduos e proteger o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 10004: Resíduos Sólidos*. 2004.
2. ACHON, C. L.; SOARES L. V; MEGDA C. R *Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água*. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande – MS, 2005.
3. ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. *Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, n. 1, p. 54-62, 2008.

4. ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. *Geração e destinação de lodos de estações de tratamento de água na sub-bacia do rio Piracicaba – Brasil*. In Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Silubesa. Belo Horizonte - MG, 2012.
5. ALÉSSIO, P., TEIXEIRA S. R. *Efeito da data de coleta de lodos de ETA nas propriedades físicas da cerâmica vermelha*. In: 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Pedro. Anais. São Paulo. 2005.
6. ASCE, American Society of Civil Engineers; AWWA, American Water Works Association. *Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residual*. New York, 294 p. 1996.
7. BONATO, C. M.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R.; VENEGAS, V. H. A. *Efeito do alumínio sobre a absorção, a partição e a utilização de enxofre em sorgo*. R. Bras. Fisiol., 2000.
8. BRASIL. *Lei nº 9.605 Crimes Ambientais*. Brasília: 12 de fevereiro de 1998. 15 p.
9. BRASIL, Ministério da Saúde. *Portaria 2.914. Procedimento de Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade*. Diário Oficial da república, Brasília: 21 de dezembro de 2011.
10. CORDEIRO, J. S. *Importância do tratamento e disposição adequada dos efluentes líquidos de ETAs*. In: REALI, M. A. P. (Coordenador). *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 240 p. 1999.
11. CORDEIRO, J. S. *Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs)*. In: ANDREOLI, C. V. (Coordenador). *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 282 p. 2001.
12. CORDEIRO J. S, *Micro propriedades de lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água*, Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Cancun, México, 2002.
13. CORDEIRO, J. S., CAMPOS J. R. *O impacto ambiental provocado pela indústria da água de abastecimento*. Disponível em: <www.esp.ce.gov.br>. Acesso em: julho de 2012.
14. COUTO, V. M. P. *Desenvolvimento e caracterização de materiais cerâmicos derivados do processamento dos resíduos de estação de tratamento de água*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
15. DI BERNARDO, L.; CARVALHO, E. H.; SCALIZE, P. S. *Disposição de resíduos líquidos de ETAs em ETEs*. *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES. 240 p. Projeto PROSAB. 1999.
16. DI BERNARDO, L.; SCALIZE, P. S.; FRAGIACOMO, P.; TROFINO, J. C.; VIUDES, M. A. P. *Clarificação da água de lavagem de filtros de sistemas de filtração direta ascendente e desaguamento do lodo por centrifugação*. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. 1999.
17. FERREIRA FILHO, S. S. *Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade*. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu. 1997.
18. FERRARI, E. M. *Desidratação de lodos de estações de tratamento de água*. Dissertação (mestrado em recursos hídricos e saneamento ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.
19. FONTANA, A. O. *Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem dos filtros – Estudo de caso ETA Cardoso*. Dissertação Mestrado, UFSCar, São Carlos, São Paulo, 2004.
20. FONTES, C. M A. *Utilização das cinzas de lodo de esgoto e de resíduo sólido urbano em concretos de alto desempenho*. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2008.
21. GONÇALVES, R. F.; PIOTTO, Z. C.; RESENDE, M. B. *Influência dos mecanismos de coagulação da água bruta na reciclagem de coagulante sem lodos de estações de tratamento de água*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18. Rio de Janeiro. Anais. ABES. 1999.
22. GUIMARÃES, G. C. *Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA-Brasília*. Dissertação (mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2007.
23. HOPPEN, C.; PORTELLA, K.F.; JOUKOSKI, A.; TRINDADE, E. M.; ANDREÓLI, C.V. *Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental*. Quim. Nova, v. 29, n. 1, p. 79-84, 2006.
24. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008*. Rio de Janeiro, 2010.
25. JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S.S. *Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.12, n.2, p.117-126, 2007.
26. MACHADO L. C. G. T; PONTE M. X; LOPES L. N. A; PEREIRA J. A. R; *Utilização de resíduo de ETA como*

- insumo agrícola*, In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande – MS, 2005.
27. MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Editora Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba, SP, 1980, 251 p.
  28. MINAS GERAIS, *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01*, Classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de efluentes. Belo Horizonte, 05 de maio de 2008.
  29. OWEN, P. G. *Water-Treatment Works' Sludge Management*. Water and Environment Journal, v. 16, p. 282-285, nov. 2002.
  30. PEIXOTO, G. J. *Avaliação da Aplicação de Lodo de ETA no Adensador de Lodo de uma ETE de Lodos Ativados*. Dissertação (mestrado em recursos hídricos e tecnologias ambientais) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2008.
  31. POHLAND, F. G.; GOULD, J. P. *Codisposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills*. In: International Seminar on Anaerobic Digestion in Tropical Countries. São Paulo, 1986. Papers. São Paulo, Cetesb. 1986.
  32. REALI, M. A. P. *Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs*. In: REALI, M. A. P. (Coordenador). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 240 p. 1999.
  33. REALI, M. A. P.; PATRIZZI, L. J. *Espessamento de lodos de ETAs*. In: REALI, M. A. P. (Coordenador). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 240 p. 1999.
  34. RICHTER, C. A. *Tratamento de lodos de estações de tratamento de água*. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2001.
  35. ROSÁRIO, C.G.A. *Avaliação da disposição de lodo gerado numa estação de tratamento de água em reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB)*. 2007. 236 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
  36. SAGOBAL-PAZ, L. P.; DI BERNARDO, L. *Aspectos conceituais relativos à seleção das tecnologias de tratamento e de disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água*. In: In: 23<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande. 2005.
  37. SALES, A.; CORDEIRO, J. S. *Imobilização da fase sólida de lodos de estação de tratamento de água (ETAs)*. In: ANDREOLI, C.V. (Coordenador). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 282 p. 2001.
  38. SARTORI, H. J. F.; NUNES, M. F. *Caracterização geotécnica de lodos provenientes de estações de tratamento de água e esgotos sanitários*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18. Rio de Janeiro. Anais. ABES. 1999.
  39. SILVA, E. T. da; MELO, W. J. de; TEIXEIRA, S. T. *Chemical attributes of a degraded soil after application of water treatment sludges*. Sci. Agric. v.62, n.6, p.559-563. 2008.
  40. TARTARI, R. *Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, com aditivo em massa para cerâmica vermelha*. Dissertação (mestrado em monitoramento e controle ambiental) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo. 2008.
  41. TEIXEIRA S. T.; MELO, W. J. de; SILVA E. T. da. *Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado*. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.1, p.91-94, jan. 2005.
  42. TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. *Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo*. In: 21<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa. 2001.
  43. VITORINO, J. P. D.; Monteiro, S. N.; Vieira, C. M. F. *Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa*. Cerâmica, v.55, n.336, p.385-392. Dez 2009.