

REGENERAÇÃO POR VIA ÁCIDA DO COAGULANTE PRESENTE NO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PITANGUI OPERADA PELA SANEPAR DE PONTA GROSSA/PR

Marcelo De Julio (Professor Doutor da Divisão de Engenharia Civil do ITA) E-mail: dejulio@ita.br
Murilo Noslen Oliveira dos Santos (Especialista em Gestão Ambiental pela UEPG)
Fabiano Icker Oroski (Coordenador Industrial da URPG - Companhia de Saneamento do Paraná).

Resumo: Este trabalho teve como objetivo regenerar o coagulante do lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA) Pitangui do município de Ponta Grossa/PR, a qual emprega como coagulante primário o cloreto de polialumínio (PAC). O método de regeneração empregado foi o da via ácida e o lodo proveniente das descargas de fundo dos decantadores da referida ETA, a qual é administrada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). A regeneração foi realizada em escala de bancada utilizando com reator os jarros do equipamento *jartest*. Para avaliar a eficiência da regeneração foram realizadas análises da concentração de alumínio no coagulante regenerado e no lodo resultante da regeneração, obtendo-se concentrações de 130 mg/L e 26,7 mg/kg, respectivamente.

Palavras-chave: Lodo de ETA (LETA), Regeneração por via ácida, Coagulante regenerado, Reúso.

ACID VIA REGENERATION OF THE COAGULANT PRESENT IN THE SLUDGE OF PITANGUI WATER TREATMENT PLANT MANAGED BY SANEPAR FROM PONTA GROSSA/PR/BRAZIL

Abstract: This work had as objective the coagulant regeneration from the sludge of Ponta Grossa City, Parana State, Brazil, Pitangui Water Treatment Plant (WTP), which uses as primary coagulant polyaluminium chloride (PACl). Acid via regeneration method was applied and the sludge collected from the sedimentation tanks discharges of the mentioned WTP, which is managed by Parana Sanitation Company (SANEPAR). The regeneration was realized in bench scale employing *jartest* equipment. Regeneration efficiency evaluation was done by means of aluminium concentration in the regenerated coagulant and in the resulting sludge from regeneration, achieving 130 mg/L and 26.7 mg/kg concentration, respectively.

Keywords: WTP sludge, Acid via regeneration, Regenerated coagulant, Reuse.

1. INTRODUÇÃO

A urbanização e o crescimento populacional ocorridos nos últimos 30 anos têm sido responsáveis por demandas crescentes de bens de consumo, energia e água para abastecimento público e industrial, gerando grandes volumes dos mais variados resíduos (CORDEIRO, 2001).

Os sistemas de abastecimento de água para a população urbana envolvem uma série de subsistemas, dos quais a estação de tratamento de água (ETA) é parte fundamental quando se utilizam mananciais superficiais. Dentre essas estações, o sistema tradicional ou tratamento em ciclo completo é utilizado pela maioria das estações. Os resíduos (Lodos de Estações de Tratamento de Água – LETAs) gerados neste sistema são geralmente lançados no ambiente, normalmente em cursos de água próximos às ETAs. Essa prática está em desacordo com a legislação vigente, pois pode alterar consideravelmente as características desse corpo receptor (CORDEIRO, 1999).

Segundo Andreoli et al. (2006), os órgãos ambientais vem questionando a prática do descarte do LETA no corpo receptor, demandando soluções urgentes para o setor.

Classicamente estas soluções partem de uma redução de volume por meio da remoção de água, a co-disposição em aterros de resíduos sólidos urbanos, a disposição em aterros exclusivos, a estocagem por períodos prolongados em lagoas, a utilização no solo e o co-processamento. Mais recentemente estão em estudo alternativas classificadas como benéficas ao meio ambiente, em que o resíduo é utilizado ou transformado em produtos úteis para a sociedade, entre elas destaca-se a utilização na fabricação de cimento, peças cerâmicas e recuperação de áreas degradadas.

Há algumas décadas vem sendo estudada a recuperação do coagulante utilizado no tratamento da água, por meio de alguns processos, dentre eles a regeneração ácida, onde o sobrenadante que consiste em uma solução do coagulante é separado para reuso, sendo que os sólidos resultantes podem ser encaminhados para tratamento. Este processo conduz a uma grande redução no volume e teor de sólidos existente no LETA, com conseqüente minimização dos custos e dos problemas associados à sua disposição final (RICHTER, 2001).

Estudos recentes sugerem que a aplicação de coagulantes regenerados no tratamento físico-químico de esgotos pode ser uma estratégia interessante para disposição deste tipo de resíduo. Esta prática reduz a quantidade de resíduos necessitando de disposição final em uma ETA e, além disso, o lodo poderá ser mais facilmente transportado para a ETE, a qual normalmente dispõe de unidades específicas para seu tratamento, além de reduzir consideravelmente o teor de alumínio (coagulante mais empregado em ETAs) no LETAs, o qual pode ser prejudicial aos processos biológicos de tratamento de efluentes (GONÇALVEZ et al., 1999).

1.1. RESÍDUOS DO TRATAMENTO DE ÁGUA (LETA)

As ETAs têm sido projetadas seguindo um padrão em que a preocupação se atém ao produto final a ser distribuído à população. Esse é sem dúvida o objetivo desses sistemas, no entanto, na operação de uma planta de tratamento estão envolvidos outros fatores que devem ser observados pelos responsáveis (CORDEIRO, 2001).

Os resíduos gerados nos decantadores, nos sistemas tradicionais de tratamento, podem ficar retidos durante vários dias ou algumas horas, dependendo da forma de limpeza utilizada nos tanques e, posteriormente, são lançados no ambiente, normalmente em cursos d'água próximos às ETAs (CORDEIRO, 1999).

No Brasil, em levantamento de dados realizado em 2001, existiam cerca de 7.500 ETAs chamadas de convencionais ou tradicionais (tratamento em ciclo completo), as quais empregam a coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção, fluoretação e estabilização final. Esses sistemas geram rejeitos principalmente nos decantadores e nos filtros e os lançam diretamente em cursos d'água, agravando a questão ambiental (CORDEIRO, 2001).

Os lodos gerados nos decantadores das ETAs são resultados dos processos e operações de coagulação/floculação e sedimentação das partículas presentes na água bruta. Essas partículas sofrem ação de reações químicas e operação física de formação de flocos que se tornam propícios para a operação de sedimentação ou de flotação (CORDEIRO, 2001). Para Richter (2001), o LETA tem a composição da água bruta de origem, acrescida de substâncias resultantes dos produtos químicos utilizados, principalmente hidróxidos de alumínio ou de ferro, provenientes do coagulante. Podem conter também carvão ativado, polímeros, substâncias para correção do pH, dentre outras.

Gonçalves et al. (1999) relata que o tratamento e disposição final dos lodos vem se tornando nos últimos anos uma etapa crucial no processo de tratamento de águas, consumindo uma significativa fração do orçamento da produção de água para abastecimento público. As ETAs convencionais utilizam processos de coagulação e floculação para clarificação das águas, gerando como resíduo lodo contendo hidróxidos metálicos, impurezas retiradas da água bruta, dentre outros. Devido ao conteúdo elevado de metais e sólidos, a disposição deste lodo tem se mostrado extremamente danosa ao meio ambiente e aos seres humanos, levando ao surgimento de legislações ambientais severas, exigindo práticas racionais para disposição deste tipo de resíduo. Para Richter (2001), o tratamento e a disposição do lodo é uma atividade usualmente muito dispendiosa.

1.2. CARACTERÍSTICAS DOS LETAS

O lodo gerado nos decantadores das ETAs de tratamento em ciclo completo pode ter características bastante variadas, dependendo fundamentalmente das condições apresentadas pela água bruta, dosagens e produtos químicos utilizados, forma de limpeza de decantadores, entre outros fatores (CORDEIRO, 2001).

A porcentagem do lodo (água, impurezas e produtos químicos) removida do processo depende da sua origem, se de decantadores ou flotores, de filtros rápidos convencionais, de unidades de filtração direta, bem como da técnica ou metodologia usada para a remoção do lodo, tipo de coagulante e operação da ETA. Geralmente se encontra entre 0,2% a 5% do volume tratado pela estação de tratamento, havendo casos excepcionais de instalações de filtração direta, onde a presença de algas eleva essa perda a valores tão altos, como 30% a 40%. Os decantadores convencionais são os que apresentam os valores mais baixos, geralmente inferiores a 0,5% de perdas, dependendo da frequência das descargas; os clarificadores em manto de lodo são os que apresentam maiores valores, 1% a 5%, com os decantadores laminares em uma posição intermediária de 0,5% a 2% (RICHTER, 2001).

Em geral, a concentração de sólidos no lodo de tanques de decantação, varia entre 0,1% a 4%; já na água de lavagem dos filtros a porcentagem é de 0,004% a 0,1%. Normalmente, 75-90% desses valores representam sólidos suspensos e 20-35% de compostos voláteis (RICHTER, 2001). Geralmente o LETA é constituído de material orgânico carregado pela água bruta, subprodutos gerados da adição de produtos químicos e água. As partículas presentes na água a ser tratada são basicamente colóides que conferem à mesma cor e turbidez. Os colóides têm tamanho que variam de 1 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) a 1 mm ($1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$). Essa característica dificulta a remoção da água livre dos lodos (CORDEIRO, 2001).

Na Tabela 1 pode-se verificar os parâmetros das características do LETA, obtido por vários pesquisadores, e demonstra a grande diferença entre as características de cada estudo.

Weber & Torres (2007), apresentam os resultados de pesquisa realizada pela SANEPAR, onde foram analisadas amostras de lodo de dez ETAs sendo elas: ETA Iguaçu em Curitiba, ETA Saí-Guaçu em Guaratuba, ETA Guarapuava, ETA Pitangui em Ponta Grossa, ETA Tibagi em Londrina, ETA Medianeira, ETA União da Vitória, ETA São Mateus do Sul, ETA Cascavel I e ETA Maringá. Por meio da análise do lodo coletado proporcionalmente em decantadores e filtros foram analisados parâmetros físico-químicos e parâmetros de toxicidade. Os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados foram comparados com o Conama 357/05 e estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 1 - Características dos LETAs.

Autor/ano	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SV (%ST)	SS (%ST)
-----------	------------	------------	----	-----------	----------	----------

Neubauer (1968)	30 a 150	500 a 15.000	6,0 a 7,6	1.100 a 16.000	20 a 30	-
Sutherland (1969)	100 a 232	669 a 1.100	7	4.300 a 14.000	25	80
Bugg (1970)	380	1.162 a 15.800	6,5 a 6,7	4.380 a 28.580	20	-
Albrecht (1972)	30 a 100	500 a 10.000	5,0 a 7,0	3.000 a 15.000	20	75
Culp (1974)	40 a 150	340 a 5.000	7	-	-	-
Nilsen (1974)	100	2.300	-	10.000	30	-
Singer (1974)	30 a 300	30 a 5.000	-	-	-	-
Cordeiro (1981)	320	5.150	6,5	81.575	20,7	-
Vidal (1990)	449	3.487	6,0 a 7,4	21.972	15	-
Vidal (1990)	173	1.776	6,7 a 7,1	6.300	73	-
Cordeiro (1993)	-	5.600	6,4	30.275	26,3	-
Patrize (1998)	-	-	5,55	6.112	19	-
Patrize (1998)	-	-	6,8	6.281	-	-

ST: Sólidos Totais; SV: Sólidos Voláteis; SS: Sólidos Suspensos. Fonte: Cordeiro (1999).

Por meio da análise dos dados da Tabela 2, Weber & Torres (2007) concluíram que os parâmetros pH, óleos e graxas, DBO e DQO estão de acordo com os limites estabelecidos pelo Conama na maioria dos casos. O alumínio não possui padrão de lançamento estabelecido na resolução Conama nº 357/05. Já os parâmetros ferro e sólidos sedimentáveis apresentaram valores muito acima dos limites de lançamento, caracterizando-se como um fator limitante para o lançamento bruto do lodo no corpo d'água.

Para Weber & Torres (2007), quanto aos parâmetros de toxicidade relacionados na Tabela 3, em praticamente todos eles exigem alguma taxa de diluição para permitir seu lançamento *in natura* nos corpos d'água. A situação mais crítica refere-se a alga *Scenedesmus subspicatus*, pois para a maioria das ETAs exige-se diluição de 32 vezes ou mais. Os autores mencionam que pelos resultados verificados pode-se considerar que a alternativa de lançamento direto do lodo de ETA poderia ser considerada para alguns casos, para outros, no entanto, seria necessária uma equalização prévia e para alguns casos, apenas soluções convencionais de secagem e destinação final deverão ser empregadas. Contudo, os autores deste artigo não consideram apropriado o lançamento *in natura* do LETA em corpos d'água, assim como também esta prática não é permitida pela legislação ambiental em vigor e pelas normas da ABNT (NBR 10.004/2004).

Tabela 2 - Caracterização do LETA da SANEPAR.

ETA	Coagulante	pH	Sol. Sed (mL/L)	Alumínio (mg/L)	Ferro (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Óleos e Graxas (mg/L)
CONAMA 357/05		5,0 a 9,0	1		15	60,0 *	150,0 *	M: 20,0 V.A: 50,0
Iguaçu	PAC / Sulfato de alumínio	6,7	220	204	89,7	17	51	< 5
Saí-Guaçu	PAC	6,1	400	166,071	20,6	< 5	< 5	< 5
Guarapuava	Sulfato de alumínio	6,3	260	155,95	76,1	<5	< 5	< 5
Pitangui	PAC/ Sulfato de alumínio	6,7	180	103,63	15,3	< 5	29	<5
Tibagi	Cloreto Férrico	7,2	100	45,5	153	10	270	-
Medianeira	Sulfato de alumínio Granulado	7,6	42	30,55	60,5	25	107	2,4 **
União da vitória	Sulfato de alumínio	6,4	210	233,4	158	27,9	76	< 0,5
São Mateus	PAC	-	-	290,9	105	< 5	< 5	<5
Maringá	Sulfato de alumínio	6,6	-	62,7	42,8	36	74	0,9
Cascavel	PAC	7,6	43	149,7	113	140	167	10,9

* Limites estabelecidos pela licença operação

** óleos vegetais

M - óleos minerais

V.A - óleos vegetais e animais

Fonte: Weber & Torres (2007).

Tabela 3 - Número de diluições necessárias para que o LETA não cause dano significativo ao respectivo bioindicador.

ETA	Toxicidade Bactéria Luminescente <i>Vibrio Ficheri</i> FTbl	Toxicidade Microcrustáceo <i>Daphnia Magna</i> FTd	Toxicidade Algas <i>Scenedesmus Subspicatus</i> FTa
Iguaçu	8	2	16
Saí-Guaçu	4	1	> 32
Guarapuava	8	2	32
Pitangui	16	2	4
Tibagi	8	2	>64
Medianeira	2	1	>64
União da Vitória	2	>8	>64

Fonte: Weber & Torres (2007).

1.3. IMPACTOS AMBIENTAIS DOS LETAS

A NBR 10.004 (2004) classifica o LETAs como resíduo sólido; devido a esse fator não é permitido seu lançamento *in natura* em coleções de águas superficiais. No entanto, no Brasil

essa prática é realizada pela maioria esmagadora dos sistemas de tratamento de águas, promovendo impactos ambientais, algumas vezes intensos (CORDEIRO, 2001).

O LETA contém concentrações elevadas de metais, sobretudo de alumínio e ferro, que ao serem lançados *in natura* em cursos d'água podem induzir toxicidade aos organismos aquáticos e aumentar a degradação destes ambientes, considerando que estes efluentes, além de conterem metais, apresentam também elevadas concentrações de sólidos, alta turbidez e DQO, fatores que podem causar condições indesejáveis, tais como, a criação de bancos de lodo, o assoreamento do curso d'água, alterações na cor, na luminosidade e na composição química, e ainda alterações biológicas, além da descarga ser pontual (BARBOSA et al., 1999).

Para Barbosa et al. (1999) o interesse sobre a toxicidade do alumínio tem sido discreto devido à dificuldade de se estudar este elemento no meio ambiente e de se identificar a função do alumínio em certas doenças e problemas de saúde. O alumínio se apresenta na natureza principalmente como compostos na forma sólida (sais e hidróxidos), contudo, processos de acidificação (chuva ácida) têm aumentado a mobilidade do alumínio em sistemas aquáticos. O lançamento do lodo em cursos d'água no passado podia ser feito sob certas condições e dependia de permissão dos órgãos ambientais. Esta autorização era função das características e do volume do curso d'água. Esta prática não é mais permitida devido à possibilidade de se alterar a biota aquática e de se causar degradação da água e sedimentos, pela presença de contaminantes nos coagulantes utilizados (CORDEIRO, 1999).

1.4. MÉTODOS PARA TRATAMENTO DO LETA

O tratamento do LETA visa obter condições adequadas para sua disposição final, como obter um estado sólido ou semi-sólido, com remoção de água e diminuição de volume. Habitualmente são utilizadas a filtração e a separação gravitacional como os dois principais métodos de tratamento (RICHTER, 2001).

Geralmente a primeira etapa dos sistemas de tratamento do LETA consiste no pré-adensamento da água de lavagem dos filtros, sendo o sobrenadante recirculado na ETA ou descartado em curso d'água. O lodo pré-adensado é misturado ao lodo proveniente dos decantadores e, então, realizado o adensamento propriamente dito, que usualmente pode ser realizado por gravidade, por flotação por ar dissolvido ou adensadores mecânicos. O lodo adensado é encaminhado para as unidades de desaguamento final, que podem ser constituídas por centrífugas, filtros-prensas de esteira ou placas, dentre outros. Antes (ou depois) da etapa de adensamento do lodo, opcionalmente pode ser realizada a recuperação do coagulante presente no LETA (REALI, 1999).

Richter (2001) descreve dois métodos de desaguamento não mecânicos, os leitos de secagem e as lagoas de lodo; ambos consistem essencialmente em decantação, percolação (drenagem) e evaporação para obter a concentração de sólidos desejada, sendo que as lagoas têm profundidade 3 a 4 vezes maior que o leito de secagem, o que resulta em um período de carga de um ano enquanto que no leito de secagem o período de carga é de três a quatro meses.

1.5. REGENERAÇÃO DO COAGULANTE PRESENTE NO LETA

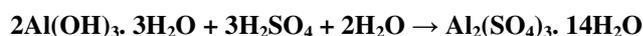
Dentre as práticas racionais para descarte do LETA está a recuperação do coagulante e disposição final do lodo remanescente em aterro, ou mesmo na produção de artefatos cerâmicos por exemplo. A solubilização dos coagulantes e sua reciclagem permite minimizar

os problemas associados à disposição final do LETA. Uma vez que cerca de 35% a 50 % dos sólidos presentes no lodo são hidróxidos, a recuperação dos coagulantes, além de diminuir o volume de lodo a ser descartado, promove o reúso dos produtos químicos dosados no tratamento (PIOTTO et al., 1999).

Quatro opções tecnológicas encontram-se disponíveis para que se realize a recuperação do coagulante do LETA: recuperação pela via ácida, onde ocorre a adição de ácido sulfúrico ao lodo de maneira a transformar os hidróxidos de alumínio presentes, em espécies químicas solúveis de alumínio; recuperação por via básica, que consiste na solubilização dos hidróxidos com a adição de hidróxido de sódio obtendo compostos denominados aluminatos; recuperação via extração por solvente, que consiste na extração seletiva do alumínio previamente solubilizado, com extrator orgânico e solventes; e o processo via quelação, onde a adsorção do alumínio se dá por membranas orgânicas compostas de esferas de polímeros quelantes. A alternativa de regeneração que alcançou o maior desenvolvimento industrial foi a recuperação pela via ácida, contando com várias realizações em grande escala em países do hemisfério norte (PIOTTO et al., 1999).

1.6. REGENERAÇÃO DO COAGULANTE POR VIA ÁCIDA

De acordo com Piotta et al. (1999), a recuperação do coagulante por via ácida começou a ser estudada no final do século retrasado e desde então diferentes configurações foram testadas. Em 1974 surge o processo de Fulton de recuperação de coagulante do LETA contendo alumínio. Este processo consiste basicamente na adição de ácido ao lodo mantendo um pH baixo (entorno de 2), de maneira a transformar os hidróxidos de alumínio presentes no lodo em espécies químicas solúveis de alumínio. A solubilização pode ser representada pela reação:



O sobrenadante resultante da regeneração, o qual consiste em uma solução de sulfato de alumínio em pH por volta de 2,5 ou menor, é então separado para o reúso e os sólidos encaminhados para um destino final adequado (RICHTER, 2001). Piotta et al. (1999) demonstra no fluxograma da Figura 1 o processo realizado por Fulton.

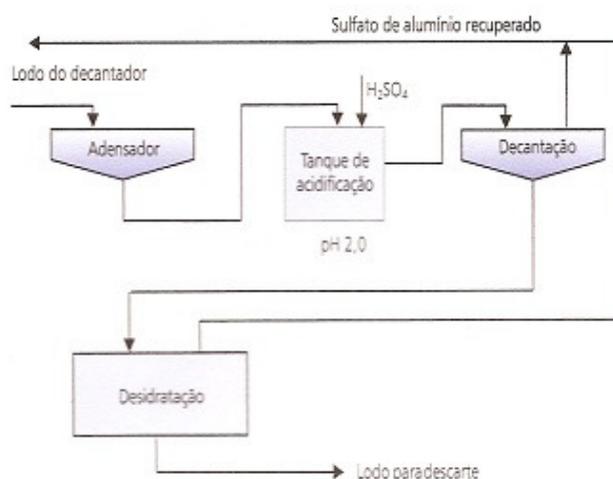


Figura 1 - Processo de Fulton. FONTE: Piotta et al. (1999).

No projeto realizado por Demattos et al. (2001), na estação de tratamento Rio Manso em Belo Horizonte, foram realizados estudos sobre a regeneração do cloreto férrico empregado como coagulante. Primeiramente os testes foram realizados em laboratório; após novos testes em estação piloto foi verificado que a eficiência do coagulante regenerado é similar ao do coagulante comercial, sendo então construído um sistema para a regeneração do coagulante de todo o LETA para utilização na própria ETA. O processo de regeneração consiste em três tanques reatores, cada um com 100 m³, onde ocorre a mistura deste lodo com o ácido. O ácido é estocado em dois tanques com capacidade para 20 m³ que alimentam os reatores por gravidade.

Freitas et al. (2005) realizou estudos sobre a regeneração do LETA de duas estações, ETA Guaraú e ETA Rio Grande, ambas localizadas na Região Metropolitana de São Paulo. A regeneração foi realizada pela acidificação e filtração dos lodos seguindo a seguinte seqüência:

- Adicionado o ácido sulfúrico 5N ao lodo e mantido sobre agitação por 10 minutos. Durante essa etapa é monitorado o pH da mistura ao longo do tempo;
- Depois de completado o tempo de ensaio, são retiradas duas amostras; uma amostra é filtrada em papel de filtro n° 40 ou n° 42 e posteriormente em membrana 0,45 µm e submetida à análise de ferro ou alumínio e em alguns casos outros metais; a outra amostra é utilizada para a determinação das concentrações de sólidos em suspensão totais (SST), fixos (SSF) e voláteis (SSV).

Buscando estudar a cinética da reação e determinar um tempo que proporcionasse resultados adequados, Freitas et al. (2005) realizaram ensaios avaliando o efeito do tempo de mistura nas concentrações de alumínio e ferro, podendo ser verificado os resultados obtidos na Figura 2.

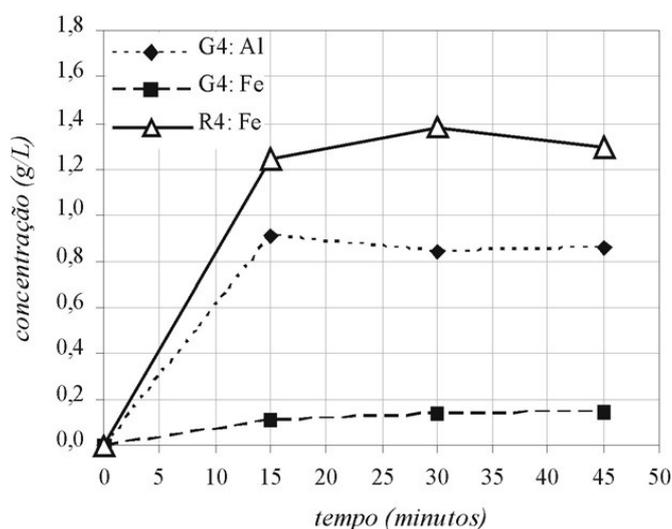


Figura 2 - Efeito do tempo de mistura nas concentrações de alumínio e ferro nas ETAs Guaraú (G4) e Rio Grande (R4). Fonte: Freitas et al. (2005).

Pode-se observar que as concentrações de Al e Fe cresceram significativamente nos primeiros 15 minutos e permaneceram praticamente constantes nos minutos seguintes. Por meio da realização de novos ensaios, não demonstrados graficamente em seu estudo, Freitas

et al. (2005) determinaram que o tempo de acidificação ideal seria de 10 minutos, onde a concentração máxima de ferro e alumínio seria obtida no coagulante regenerado.

Gonçalves et al. (1999) apresentaram um estudo realizado sobre a viabilidade econômica da regeneração do sulfato de alumínio existente nos lodos de decantadores de ETAs e sua reutilização na própria ETA ou em ETEs. Foram levados em consideração Estações de Tratamento de Águas e Esgotos para populações de 5.000, 10.000, 20.000 e 50.000 habitantes, analisando a redução na demanda de coagulantes e o volume de lodo produzido. Com o estudo ficou concluído que para as populações estudadas, a regeneração e a reciclagem de coagulantes é uma possibilidade bastante atrativa, especialmente em situações onde existe proximidade geográfica entre as estações de tratamento de água e de esgoto, fazendo com que a co-disposição seja uma opção a ser considerada.

De acordo com Freitas et al. (2005) estes estudos levantaram problemas em relação à qualidade do coagulante regenerado, que pode conter concentração mais elevada de poluentes como metais pesados. A sua utilização em sistemas de abastecimento de água pode comprometer a qualidade de água a ser distribuída à população. Portanto, é mais adequado que o coagulante regenerado seja utilizado em outros processos e não no tratamento de águas para abastecimento. Uma das alternativas para o uso do coagulante obtido pela regeneração é a aplicação em sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

Piotto et al. (1999) realizaram estudos avaliando a influência das características da água bruta na recuperação do coagulante presente no LETA. Foi regenerado o lodo de várias ETAs em períodos de chuva e de seca, com a determinação dos teores de alumínio recuperado e a relação turbidez/dosagem de alumínio. As relações apresentadas na Tabela 4 mostram que, quanto menor a relação entre a turbidez e a dosagem de coagulante, maior será percentagem de Al recuperada e o potencial de recuperação do coagulante.

Tabela 4 - Relações turbidez/dosagem de Al, teores de sólidos no lodo, potencial de recuperação e quantidade de Al recuperado.

Origem do lodo	Relação Turbidez / Dosagem de Al	ST no Lodo Adensado	Potencial de Recuperação	% Al Recuperado
Aracruz (seca)	1,1	4,00%	médio	38,4
Aracruz (chuva)	6	13,60%	médio	16,4
Linhares (seca)	0,67	1,00%	médio	16,1
Linhares (chuva)	10	5,60%	baixo	5,1
Colatina (seca)	0,2	6,10%	médio	44,5
Colatina (chuva)	6,8	8,20%	baixo	8,67
Itapemirim (seca)	1,91	12%	médio	23,8
Itapemirim (chuva)	4,53	12,70%	médio	17,8
Gomes (seca)	0,04	0,26%	grande	93,8
Gomes (chuva)	0,06	1,20%	grande	96,1

Fonte: Piotto et al. (1999).

O presente trabalho teve como objetivo a regeneração ácida em nível de bancada do lodo da ETA Pitanguí, localizada no município de Ponta Grossa/PR, administrada pela

Companhia de Saneamento do Estado do Paraná (SANEPAR), analisando a eficiência da regeneração por meio da análise de alumínio presente no coagulante regenerado e no lodo resultante do processo de regeneração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a regeneração do coagulante foram levantados os métodos utilizados em estudos já realizados e como referência foi utilizada a metodologia empregada por Freitas et al. (2005), onde foi avaliada a viabilidade técnica e econômica da regeneração do coagulante presente no LETA.

O processo de regeneração do coagulante foi realizado em nível de bancada, utilizando como reator o equipamento *jartest* (nova ética, modelo LDB especial) do Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG. O equipamento é composto de seis jarros graduadas com capacidade 2 litros cada e um sistema de agitadores onde a rotação pode ser controlada por meio de um painel eletrônico como pode ser visto na Figura 3.

Para a regeneração foram coletados cerca de 100 L do LETA das descargas de fundo dos decantadores da ETA Pitangui em Ponta Grossa/PR. Foi procurado coletar o lodo do início da descarga, o qual apresentava-se mais concentrado. Na data de coleta das amostras do LETA para a regeneração a dosagem de coagulante (PAC) na referida ETA era de 60 mg/L (produto comercial, líquido, com concentração de Al_2O_3 de 11,17%), fator que deve ser considerado, pois quanto maior a quantidade de coagulante dosado maior será a concentração de alumínio no lodo regenerado.

A ETA Pitangui é uma estação de tratamento em ciclo completo, com mistura rápida realizada em calha Parshall, floculador hidráulico de chicanas verticais, decantador de alta taxa e filtração rápida descendente em filtro de camada dupla composta de antracito e areia. Emprega como coagulante o cloreto de polialumínio (PAC), sem a adição de alcalinizante para correção do pH de coagulação, sendo dosado carvão ativado em pó (CAP, Brascarbo, tipo K-800 Umectado) logo após a adição do coagulante e, aproximadamente, no meio do floculador é adicionado polímero sintético catiônico em emulsão (Magnafloc LT225, Gross 25, 10 KGS, polyacrylamide) como auxiliar de floculação. Após a etapa de filtração, a água tratada na ETA Pitangui é reunida com a água tratada na ETA Alagados, e então adicionadas soluções de cloro (Cl_2), flúor (fluorsilicato de sódio) e cal.



Figura 3 - Equipamento *jartest* com o lodo em processo de regeneração.

A regeneração foi realizada em processo de batelada, onde cada um dos 6 jarros foi preenchido com 2 litros do LETA previamente homogeneizado. Os agitadores foram ajustados para manter sua rotação em 150 rpm (gradiente de velocidade de aproximadamente 185s^{-1}). Assim que foram ligados os agitadores foi dosado cerca de 20 mL de ácido sulfúrico 5N (2450 mg/L) em cada jarro, com o objetivo de se obter pH em torno de 2. O processo de acidificação foi mantido por um período de 10 minutos, o qual segundo estudo de Freitas et al. (2005) é suficiente para regeneração do alumínio presente no LETA. Com a utilização de um pHmetro de bancada (B474 Micronal) foi realizado o monitoramento do pH durante o processo de acidificação, sendo que o pH manteve-se em uma faixa de 1,5 a 2,0.

Decorridos os 10 minutos da acidificação, os agitadores do jarrest foram desligados e levantadas as paletas para ocorrer a operação de sedimentação dos sólidos. Decorridos 20 minutos da operação de decantação iniciou-se a separação do sobrenadante. Procurou-se obter o maior volume possível de sobrenadante (coagulante regenerado) em relação aos sólidos depositados no fundo do jarro. Em média de cada 2 L de LETA foi possível obter cerca de 1,8 L de coagulante regenerado, totalizando cerca de 90 L de coagulante regenerado. Depois da homogeneização de todo o coagulante regenerado, foi realizada a coleta de uma amostra do coagulante e uma amostra dos sólidos resultantes da regeneração, para a determinação da concentração de alumínio em ambos. O coagulante regenerado foi armazenado em um reservatório de PVC, onde pôde ser facilmente homogeneizado.

Na Tabela 5 podem ser verificados os valores dos parâmetros que foram avaliados durante o processo de regeneração.

Tabela 5 - Parâmetros de regeneração do LETA.

Parâmetro	Valor
pH de acidificação	1,5 - 2,0
Dosagem de Ácido sulfúrico 5N	2450 mg/L
Tempo de acidificação	10 min
Gradiente de velocidade médio	185 s^{-1}
Tempo de decantação	20 min
Volume de Regenerado por Jarro	1,8 L

As análises de alumínio foram realizadas no laboratório de análises físico-químicas Interpatner, de acordo com o *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater* (2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a realização da regeneração seguindo os parâmetros descritos na Tabela 5 foi possível obter uma concentração de 130 mg/L de Al no coagulante regenerado e concentração de 26,7 mg/Kg de Al nos sólidos resultantes do lodo da regeneração.

Comparando a concentração de alumínio obtido no coagulante regenerado com os resultados obtidos com os estudos realizados por Weber & Torres (2007), onde a concentração de alumínio presente no lodo da ETA Pintagui foi de 103,62 mg/L, e levando em consideração a diferença na operação da ETA (tempo de descarga de lodo dos decantadores), as diferentes datas de coleta das amostras e uma possível diferença na dosagem de PAC, pode-se dizer que no processo de regeneração, a maior concentração de alumínio acaba ficando no coagulante regenerado. Com isto se reduz a concentração de alumínio presente no LETA, o qual deverá ser encaminhado para uma disposição final adequada, ou mesmo co-disposição com o lodo das ETE's.

Na Figura 4 pode-se verificar o aspecto do coagulante regenerado em seu local de armazenamento.

O coagulante regenerado foi empregado em ensaios de tratabilidade do esgoto tratado da ETE Verde da SANEPAR, coletado logo após a lagoa de polimento, antes do descarte no Rio Verde. Com os ensaios de tratabilidade foram obtidos valores de turbidez abaixo de 3 uT no efluente decantado com dosagem de 2,9 mg/L de alumínio presente no coagulante regenerado (DE JULIO, et al., 2010), revelando que o coagulante regenerado pode ser empregado no tratamento físico-químico de águas residuárias.



Figura 4 - Coagulante regenerado.

4. CONCLUSÕES

A regeneração do coagulante por via ácida do lodo da Estação de Tratamento de Água Pitangui do município de Ponta Grossa/PR pode ser considerado operacionalmente um processo simples para ser realizado, obtendo um coagulante que possui eficiência semelhante aos coagulantes comerciais e quando aplicado no efluente da lagoa de polimento da ETE Verde da SANEPAR ocorreu remoção significativa de partículas em suspensão (turbidez) e, conseqüentemente, diminuição na concentração de sólidos e matéria orgânica, obtendo inclusive uma redução significativa na concentração de fósforo, nutriente limitante no processo de eutrofização dos corpos d'água. Portanto, conclui-se que o coagulante regenerado

pode ser empregado no pós-tratamento físico-químico de águas residuárias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e empresa Nova Ética por ceder o equipamento *jartest*.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C.V; PIGORINE, E.S; HOPPEN C; TAMANINI, C.R; NEVES, P.S. *Produção, composição e constituição de lodo de estação de tratamento de água.* In: ANDREOLI, C.V (coord.). *Alternativas de Uso de Resíduos de Saneamento.* Rio de Janeiro: ABES, p.29- 48, 2006.

BARBOSA, R. M; POVINELLI, J; ROCHA, O; ESPÍNDOLA, E.L.G. *A Toxicidade de despejos de (lodos) de estação de tratamento de água à Daphnia similis (CLADOCERA, CRUSTACEA),* In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Recife, 1999. Disponível em <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/tratagua/ii-008.pdf> consulta em 04 de Setembro de 2008.

CONAMA 357/2005. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Consulta em 09 de Agosto de 2005.

CORDEIRO, J.S. *Processamento de Lodo de estação de tratamento de água.* In: ANDREOLI, C.V (coord.) *Resíduos Sólidos do Saneamento Processamento Reciclagem e Disposição Final.* Rio de Janeiro: RiMA/ABES/PROSB, p.119-142, 2001.

CORDEIRO, J.S. *Importância do Tratamento e Disposição adequada do Lodo de Estação de Tratamento de Água* In: REALI, M.A.P , C.V (coord.). *Noções Gerais do Tratamento e Disposição Final do Lodo de Estação de Tratamento de Água.* Rio de Janeiro: ABES, p.1-18 , Projeto Prosab, 1999.

DE JULIO, M; OROSKI, F.I; SANTOS, M.N.O; DE JULIO, T.S. *Reúso do coagulante regenerado do lodo de ETA no tratamento terciário de efluente de lagoa polimento precedida de reator UASB.* Revista DAE, 2010. No prelo.

DEMATOS, M; COSTA, G.J.C; FONSECA, D.J; BRAGA, J.P.C; JANZEN, V. *Redução do volume de lodo gerado em estações de tratamento de água – a proposta de recuperação do coagulante pelo processo de acidificação no sistema Rio Manso.* In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001.

FREITAS, J.G; FERREIRA FILHO, S.S; PIVELI, R.P; *Viabilidade técnica e econômica da regeneração de coagulantes a partir de lodos de estações de tratamento de água.* Revista engenharia sanitária e ambiental, v.10, n.2, p.137-145, abr-jun, 2005.

GONÇALVES, R. F.; BRANDÃO, J. T.; BARRETO, E. M. S. *Viabilidade econômica da regeneração do sulfato de alumínio de lodos de estações de tratamento de água.* In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999.

NBR 10004:2004. *Resíduos sólidos - Classificação.* ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

PIOTTO, Z; BARRETO, E; GONÇALVES, R.F; BRANDÃO, J; *Recuperação de Coagulantes de Lodos de Estações de Tratamento de Águas.* In: REALI M.A.P , C.V (coord.). *Noções Gerais do Tratamento e Disposição Final do Lodo de Estação de Tratamento de Água.* Rio de Janeiro: ABES, p.203-224, Projeto Prosab, 1999.

REALI, M.A.P; *Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs.* In: REALI, M.A.P, (coord.). *Noções Gerais do Tratamento e Disposição Final do Lodo de Estação de Tratamento de Água.* Rio de Janeiro: ABES, p.21-39, Projeto Prosab, 1999.

RICHTER, C.A. *Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água.* São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 20th, Edition, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 2001.

WEBER, P; TORRES, T.L. *Estudo para caracterização quantitativa e qualitativa lodo de estação de tratamento de água.* In: 24^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007.