

## ESTUDO DA APTIDÃO AO DESAGUAMENTO DE LODOS GERADOS NA PRODUÇÃO DE COQUE

### **Maria Alice Moreno Marques<sup>(1)</sup>**

Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora dos cursos de Química e Engenharia Ambiental da Faculdade de Saúde e Meio Ambiente (FAESA)-ES.

### **Cláudia Rodrigues Teles**

Engenheira Florestal pela Universidade Federal de Lavras. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutoranda em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo.

### **Thiago Marchezi Doellinger**

Químico pela Universidade Federal do Espírito Santo. Tecnólogo em metalurgia e materiais, CEFET-ES. Engenheiro de Produção da USES – Usinagem e Forjaria, Serra-ES.

### **Sérvio Túlio Cassini**

Biólogo pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Microbiologia Agrícola ESALQ-USP. PhD Microbiologia Ambiental NCSU-USA. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo.

### **Ricardo Franci Gonçalves**

Engenheiro Civil e Sanitarista pela UERJ. Pós-graduado em Engenharia de Saúde Pública, ENSP/RJ. DEA-Ciências do Meio Ambiente, Universidade de Paris XII, ENGREF, ENPC. Doutor em Engenharia de Tratamento de Depuração de Água, INSA, França. Prof. Adjunto do Depto. De Engenharia Ambiental, UFES.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Isaltino Aarão Marques 191/1001 – Mata da Praia - Vitória - ES - CEP: 29065-450 - Brasil - Tel: (27) 3314-6160 - e-mail: [malicemarques@terra.com.br](mailto:malicemarques@terra.com.br).

## II-265 – ESTUDO DA APTIDÃO AO DESAGUAMENTO DE LODOS GERADOS NA PRODUÇÃO DE COQUE

### INTRODUÇÃO

Os lodos ou lamas de coqueria são subprodutos das estações de tratamento de águas residuárias na produção de coque siderúrgico. A grande quantidade do resíduo gerado, aliada à presença de substâncias potencialmente tóxicas, torna a sua disposição final uma preocupação mundial. Um aspecto importante para a gestão do lodo refere-se às técnicas mais adequadas de desidratação, que permitem redução drástica dos volumes a serem manipulados e conseqüentemente representa uma economia significativa nas etapas de transporte e disposição final.

Segundo Gazbar (1993) a capacidade de desaguamento está diretamente relacionada com a forma com que a água está ligada às partículas sólidas. Assim, com base no perfil de umidade de um determinado tipo de lodo, pode-se identificar o melhor processo de desidratação a ser utilizado.

Uma importante etapa do gerenciamento de lodos é o condicionamento. O condicionamento é um processo para melhorar as características de separação das fases sólido-líquida do lodo, seja por meios físicos ou químicos. O condicionamento de lodos neutraliza ou desestabiliza as forças químicas ou físicas atuantes nas partículas coloidais e no material particulado em suspensão imerso em meio líquido. Este processo de desestabilização permite que as partículas pequenas se juntem para formar agregados maiores, ou seja, os flocos. Normalmente, os processos de tratamento posteriores ao condicionamento, que se beneficiam com esta formação do floco, são o adensamento e a desidratação mecânica. Por isso, a seleção de um determinado processo deve basear-se em critérios de custos de capital, operação e manutenção do sistema como um todo.

Este trabalho propõe avaliar a aptidão ao desaguamento dos lodos gerados na produção de coque, como ferramenta auxiliar para o gerenciamento desses resíduos. Os testes utilizados estimam a drenabilidade, a filtrabilidade, a sedimentabilidade mecanizada e a distribuição da água livre nos lodos químico, biológico e misto. A avaliação foi realizada em escala de laboratório com os lodos bruto e condicionados com diferentes concentrações de polímeros aniônico, catiônico e não iônico.

### MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de tratamento do efluente da coqueria utilizado nessa pesquisa se processa em duas etapas. Na primeira etapa o efluente passa por um tratamento físico-químico, para precipitação de cianeto pela adição de sulfato ferroso, cal para correção de pH e polieletrólito para auxiliar na sedimentação, gerando um lodo denominado lodo químico. Na etapa seguinte, o efluente do tratamento físico-químico segue para um tratamento com lodos ativados, gerando o lodo biológico. A combinação dos dois resíduos produz o lodo misto que é adensado e centrifugado antes de seguir para a destinação final.

A seguir segue uma breve descrição das principais unidades da estação de tratamento de águas residuárias da coqueria. Dois tanques de equalização recebem o licor amoniacal vindo das colunas de destilação da coqueria. A vazão e DQO afluentes são 59,3 m<sup>3</sup>/h e 4224 mg/L, respectivamente. Dos tanques de equalização, o efluente segue para um tanque clarificador que tem como objetivo principal a remoção de cianeto através da precipitação com sulfato ferroso. Também é adicionado polieletrólito não iônico como auxiliar na sedimentação. O líquido sobrenadante segue para um tanque de equalização e o sólido (lodo químico) é retirado por meio de bombas e enviado para um tanque de adensamento de lodo ou diretamente para a centrífuga. O efluente do tanque de equalização é enviado ao tanque de aeração, onde se processa o fenômeno de oxidação biológica. O efluente desse tanque de aeração é enviado ao clarificador secundário. Esta unidade tem como objetivo principal, a remoção de lodo biológico. O líquido sobrenadante segue para o efluente final

da usina e lançado no corpo receptor (mar) enquanto parte do lodo é retornado ao tanque de aeração e parte é enviada ao espessador. A vazão de recirculação do lodo é 132,2 m<sup>3</sup>/h, a vazão efluente é de 184 m<sup>3</sup>/h e a DQO efluente é de 124 mg/L.

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Saneamento do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo (CT-UFES), localizada no Campus Universitário de Goiabeiras – Vitória. A pesquisa se dividiu em três etapas: caracterização química, ensaios para avaliação da aptidão do lodo ao desaguamento e ensaios de lixiviação e análise do teor de metais pesados nos lodos e nos lixiviados. Nesse trabalho serão apresentados os resultados da segunda etapa.

## **PLANO DE AMOSTRAGEM**

A amostragem foi feita com amostras simples, coletadas semanalmente, sempre no mesmo dia e horário, durante o período de fevereiro a julho de 2003. As amostras foram coletadas em galões plásticos de 20 litros e transportadas até o Laboratório de Saneamento da UFES, onde foram então colocadas em baldes de 20 L e deixadas em repouso para adensamento por 24 horas. Após o período de adensamento o lodo era desaguado drenando-se a água sobrenadante com o uso de um sifão. Os lodos químico e misto foram coletados nas descargas das bombas localizadas nos tanques clarificador e adensador, respectivamente. O lodo biológico foi coletado no reator biológico a 1,5 m de profundidade.

## **TESTES DE AVALIAÇÃO DA APTIDÃO AO DESAGUAMENTO**

As amostras foram analisadas no Laboratório de Saneamento (Labsan - UFES). A preparação das soluções de polímeros e de lodos condicionados com polímeros foi conduzida segundo a Water Environment Research Foundation - Guidance Manual for Polymer Selection in Wastewater Treatment Plants (1993). Os lodos foram condicionados com polímero catiônico (Optimer 7128), aniônico (Optimer 4684) e não iônico (Optimer 4032) do fabricante Nalco do Brasil, nas concentrações de 0, 2, 4, 6, 8 e 10 Kg/t SS.

### Dilatometria:

O método de desaguamento utilizado nesta pesquisa para determinar a quantidade de água livre drenável do lodo foi o método dos Desaguadores Estáticos Verticais (DEV). Este método foi selecionado por apresentar baixo custo, simplicidade operacional e rapidez na obtenção dos resultados. O método dilatométrico é baseado na teoria de que a temperatura de congelamento da água de união é inferior àquela da água livre. Essa técnica utiliza medidas de expansão indicadas pela mudança de nível de um fluido indicador produzida pelo congelamento da água livre.

### Teste do Tempo de Sucção Capilar – TSC:

O TSC é um ensaio simples e rápido, que consiste em medir o tempo exigido para que o líquido filtrado de uma amostra de lodo escoe por capilaridade entre dois círculos concêntricos sobre um papel filtro. A aparelhagem para medida do TSC funciona automaticamente, com registro de resultados por meio de cronômetro digital eletrônico. O cronômetro é ativado quando o filtrado atinge o primeiro eletrodo e pára quando o filtrado atinge o segundo eletrodo. O TSC simula o desaguamento por drenabilidade, como por exemplo, os leitos de secagem.

### Teste de Resistência Específica à Filtração - REF:

O ensaio de REF em geral é simples e reprodutível. O teste é conduzido pela colocação de um volume conhecido de lodo dentro de um funil de Buchner contendo um papel filtro e imposição de vácuo para o tempo zero. A quantidade de filtrado coletado para vários tempos é registrada até que um volume determinado de filtrado seja alcançado. O teste de REF simula o desaguamento por processos que utilizam o mecanismo da filtrabilidade, como por exemplo, o filtro prensa.

### Teste de Centrifugação de Bancada:

A metodologia experimental para laboratório foi desenvolvida pelo professor pesquisador Marco Antônio Penalva Reali, da Escola de Engenharia de São Carlos. O procedimento pode ser resumido em centrifugações em quatro diferentes rotações e em quatro diferentes tempos com concentrações diferentes de polímeros. Após a centrifugação é medido o nível da torta e posteriormente calcula-se a concentração de ST para cada concentração de polímeros; confecciona-se um gráfico de ST versus tempo. Neste experimento utilizamos a rotação de 3000 rpm. O teste de centrifugação de bancada simula o desaguamento por centrífuga.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente observou-se que o polímero aniônico não levou à floculação do lodo e conseqüentemente não permitiu uma boa separação sólido-líquido. Esse fato indica que esse polímero não deve ser utilizado para desaguamento desses lodos, uma vez que o tempo de adensamento seria muito grande, inviabilizando o processo. Para lodos de esgoto, essa incompatibilidade de desaguamento é justificada pelo fato de que as partículas do lodo têm uma carga natural elétrica negativa, e ao adicionar dosagens diferentes de polímero aniônico, o potencial eletronegativo aumenta, aumentando conseqüentemente a força de repulsão das partículas de lodo e dificultando a separação sólido-líquido. Dessa forma os testes de avaliação da aptidão ao desaguamento foram efetuados com os polímeros catiônico e não iônico apenas. A tabela 1 apresenta os resultados da caracterização físico-química dos lodos estudados:

**Tabela 1: Caracterização físico-química dos lodos pesquisados**

Tipo de Lodo	ST (%)	SV (%)
Químico	5,62 ± 2,83	0,60 ± 0,26
Biológico	1,71 ± 0,66	0,77 ± 0,14
Misto Adensado	6,79 ± 1,63	1,54 ± 0,40

Dilatometria: O resultados da dilatometria mostraram que o lodo químico possui maior quantidade de água livre drenável (ALD) (65,5%) do que o lodo biológico (59,3%) e do que o lodo misto (33,5%) sugerindo maior facilidade de desaguamento. Isso se justifica pelo fato do lodo químico ser mais estabilizado (menor teor de SV/ST) que os demais. O lodo misto apresentou menor teor de ALD que os lodos químico e biológico, pois ele é coletado após passar pelo adensador, sendo assim, grande parte da ALD é retirada nesse ponto da planta de tratamento. Pelo mesmo motivo, alta concentração de sólidos provocada pelo adensamento, se justifica o maior teor de água de união observado no lodo misto (tabela 2).

Os lodos ativados estudados por Colin e Gazbar (1995) apresentaram valores de água de união entre 4,5 e 11,2 gH<sub>2</sub>O/g MS. O lodo biológico (ativado) estudado neste trabalho ficou dentro desta faixa apresentando os valores 5,7 e 6,6 g H<sub>2</sub>O/g MS.

O lodo químico apresentou valores menores de água de união que os lodos biológico e misto estudados o que mostra que ele possui menos água unida às partículas sólidas, sugerindo ser mais fácil o seu desaguamento. Este fato confirma os resultados apresentados anteriormente de água livre drenável e se justifica pelo menor teor de SV/ST apresentado pelo lodo químico.

A tabela 2 apresenta um resumo da eficiência no desaguamento dos lodos estudados, representada pelo maior teor de ALD e menor teor de água de união (AU) atingido com o condicionamento. Observa-se que o condicionamento aumentou o teor de ALD em todos os lodos estudados.

**Tabela 2: Resumo dos melhores resultados obtidos nos ensaios de dilatometria, em termos de eficiência no desaguamento, pelo condicionamento dos lodos estudados.**

Lodo	Polímero	Concentração Polímero (Kg/t)	ALD (%)	AU (%)
Químico	catiônico	8	83,2	11,5
Biológico	catiônico	2	77,0	14,1
Misto	Não iônico	10	79,6	17,4

Observou-se que o condicionamento diminui a água de união até um valor mínimo quando esta começa então a aumentar. Esse fato pode ser explicado porque o polímero neutraliza as cargas das partículas de lodo levando a formação dos flocos, mas o excesso de polímero (over dose) resulta em repulsão eletrostática que produz espaços intersticiais. A água livre presa nesses espaços causa um aumento da água de união.

Os resultados mostraram que a faixa ótima de trabalho para o desaguamento do lodo químico por drenabilidade, condicionado com polímeros catiônico ou não iônico é de 4 a 6 Kg/t (TSC = 13 s). Para o lodo biológico o melhor resultado em relação ao TSC foi obtido com o polímero catiônico na concentração de 6 kg/t (11 s). O lodo misto quando condicionado com os polímeros catiônico e não Iônico na concentração de 4 kg/t apresentou menor TSC, 10 s e 12 s respectivamente. A tabela 3 mostra os valores de REF para os lodos não condicionados (brutos), estudados.

**Tabela 3: Valores de REF para os lodos químico, biológico e misto sem condicionamento.**

Polímero	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Químico	$1,7 \times 10^{11}$	$1,2 \times 10^{11}$	70
Biológico	$1,1 \times 10^{11}$	$6,1 \times 10^{10}$	82
Misto	$1,9 \times 10^{11}$	$9,1 \times 10^{10}$	48

Comparando os valores médios de REF apresentados na tabela 3 para os lodos estudados observa-se que o lodo biológico apresentou o menor valor,  $1,1 \times 10^{11}$  m/Kg e o lodo misto o maior valor  $1,9 \times 10^{11}$  m/Kg. Esses resultados contariam os resultados da dilatométrica e indicam que o lodo biológico tem maior aptidão ao desaguamento por filtração à vácuo que os demais lodos estudados. A maior resistência específica à filtração dos lodos químico e misto se justifica pelo efeito da viscosidade desses lodos, causada pela presença do polímero adicionado no tratamento físico-químico.

O condicionamento do lodo químico com o polímero catiônico na faixa de concentração entre 2 e 4 kg/t mostrou maior redução na resistência específica à filtração. O lodo biológico mostrou melhor resultado quando condicionado com o polímero catiônico na concentração de 8 kg/t. O lodo químico apresentou resultados semelhantes ao lodo químico, o que se justifica pelo fato que a carga do lodo químico na mistura é maior que a do biológico, prevalecendo assim o comportamento do primeiro.

**Centrifugação:** Observou-se que o teor de sólidos das tortas aumenta com o tempo de centrifugação até atingir um patamar. A partir desse tempo, o teor de sólidos da torta fica constante. Em geral o tipo de polímero e a concentração utilizados produzem resultados diferentes com relação ao teor de sólidos e o tempo para atingir o valor constante.

Os resultados dos testes de centrifugação mostraram que o lodo químico teve maior percentual de remoção de água por centrifugação (49,1%) que os lodos biológico (32,8%) e misto (44,1%). Com relação ao condicionamento podemos dizer que os resultados dos testes de centrifugação para o lodo químico não nos permitiram chegar a uma conclusão das melhores condições (polímero, concentração e tempo) para a realização do desaguamento desse lodo por centrifugação, pois apresentaram grande variabilidade. Para o desaguamento do lodo biológico por centrifugação, o polímero catiônico na concentração de 10 kg/t foi o mais eficiente, tendo-se obtido tortas com teores de sólidos de 35 % a 40 %. A melhor eficiência para o desaguamento do lodo misto por centrifugação foi obtida com o polímero não iônico na concentração de 10 Kg/t, tendo-se obtido uma torta com 45 % de ST.

## CONCLUSÕES

O estudo da distribuição da água presente nos lodos estudados sugere que o lodo Químico possui maior facilidade de desaguamento. Isso se justifica pelo fato do lodo químico ser mais estabilizado (menor teor de

SV/ST). O condicionamento aumentou o teor de água livre em todos os lodos estudados.

Os resultados dos ensaios do TSC e REF mostraram que o lodo biológico foi mais facilmente desaguado, contrariando os resultados obtidos pela dilatometria. Esse fato se justifica pelo efeito de viscosidade dos lodos químico e misto, causado pela presença de polieletrólito adicionado na etapa de coagulação/floculação. A elevada viscosidade dificulta a drenabilidade e filtrabilidade dos lodos.

Os resultados obtidos nos testes de desaguamento permitem recomendar que o lodo químico deve ser condicionado com polímero catiônico ou não iônico para processos que se baseiam em drenabilidade e polímero catiônico para processos que se baseiam em filtrabilidade. Para o lodo biológico o polímero catiônico é recomendado para qualquer processo de desaguamento. O lodo misto deve ser condicionado com polímero catiônico ou não iônico para desaguamento por drenabilidade ou filtrabilidade e não iônico para desaguamento por centrifugação.

Os resultados dos testes de centrifugação mostraram que o lodo químico apresentou maior percentual de remoção de água por centrifugação (49,1%) que os lodos biológico (32,8%) e misto (44,1%), confirmando os resultados da dilatometria.

Com relação ao condicionamento pode-se dizer que os resultados do teste de centrifugação para o lodo químico não nos permitiram determinar as melhores condições (polímero, concentração e tempo) para a realização do desaguamento desse lodo por centrifugação, pois apresentaram grande variabilidade. Para o desaguamento do lodo biológico por centrifugação, o polímero catiônico na concentração de 10 kg/t foi o mais eficiente, tendo-se obtido tortas com teores de sólidos de 35 % a 40 %. A melhor eficiência para o desaguamento do lodo misto por centrifugação foi obtida com o polímero não iônico na concentração de 10 Kg/t, tendo-se obtido uma torta com 45 % de ST.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION: **Standart Methods Examination of Water and Wastewater**, U.S.A, Washington D. C., American Water Works Association, 19 th Edition, 1995.
2. BUSHUK, W.; MEHROTRA V. K. Studies of water binding by differential thermal analysis. II. Dough studies using the melting mode. **Cereal Chem.**, v. 54, n. 2, p. 320-325. 1977.
3. CARBERRY, J. B. e PRESTOWITZ, R. A. Flocculation effects on bound water in sludges as measured by nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Applied e Environmental Microbiology**, v. 49, n. 2, p. 365-369. 1985.
4. COLIN, F. e GAZBAR, S. Distribution of water in sludges in relation to their mechanical dewatering. **Water Research**, v. 29, n.8, p. 2000-2005. 1995.
5. GAZBAR, Samir. **Evaluation et amelioration des performances des procedes de deshydratation mecanique des boues residuaires**. 1993. Tese de doutorado – Laboratoire des Sciences du Genie Chimique irh Genie de L'Environment, Institut Nacional Polytechnique de Lorraine, Tunisie, França, 1993.