

## **II-084 - DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE POLÍMEROS EM TESTES DE FLOCULAÇÃO**

### **Caio Cardinali Rebouças<sup>(1)</sup>**

Químico pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES); Especialista em Engenharia de Produção, Processo e Qualidade pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI); Mestre em Química Analítica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Analista Químico na Empresa Municipal de Água e Saneamento de Balneário Camboriú (EMASA).

### **Carla Claudino<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

### **Tânia Denise Pedrelli<sup>(3)</sup>**

Engenheira Química pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB). Especialista em Gerenciamento de Águas e Efluentes pela Faculdade do SENAI Blumenau. MBA em Perícia e Auditoria Ambiental pela Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Cascavel (UNIVEL). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Fiscal de Saúde Pública na Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú.

### **Fredolf Raduenz<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal de Santa Catarina. Especialização em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Sócio-Diretor da IEA-Press Brasil.

### **Pedro Cardoso de Sales Filho<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** 4ª Avenida, 250 – Centro – Balneário Camboriú – SC – CEP: 88330-104 – Brasil – Tel: (47) 3367-8342 – e-mail: [caio.cardinali@emasa.com.br](mailto:caio.cardinali@emasa.com.br)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Bloco D8, sala 101, Rua Uruguai, 458 – Centro – Itajaí – SC – CEP: 88302-901 – Brasil – Tel: (47) 3341-7876 – e-mail: [carlaclaudino@yahoo.com](mailto:carlaclaudino@yahoo.com)

**Endereço<sup>(3)</sup>:** Rua 1500, de 742/743 a 1132/1133 – Centro – Balneário Camboriú – SC – CEP: 88330-526 – Brasil – Tel: (47) 3261-6285 – e-mail: [tania.p@emasa.com.br](mailto:tania.p@emasa.com.br)

**Endereço<sup>(4)</sup>:** Rua Progresso, 535 – Testo Salto – Pomerode – SC – CEP: 89107-000 – Brasil – Tel: (47) 99106-4672 – e-mail: [fredolf.raduenz@iea-brasil.com](mailto:fredolf.raduenz@iea-brasil.com)

**Endereço<sup>(5)</sup>:** Bloco D8, sala 101, Rua Uruguai, 458 – Centro – Itajaí – SC – CEP: 88302-901 – Brasil – Tel: (47) 3341-7876 – e-mail: [pedrocardoso1056@gmail.com](mailto:pedrocardoso1056@gmail.com)

## **RESUMO**

Com a necessidade de tratar os efluentes, foram desenvolvidas as estações de tratamento de esgoto – ETE e, com elas, a formação de um novo passivo ambiental, o lodo de esgoto. Apresentável como um resíduo semi-sólido de rápida putrefação, as características inerentes a ele dependem da sua origem, sistema de tratamento e forma de manejo. Dessa forma, para que o seu descarte ambientalmente correto seja viável, faz-se necessária a submissão do lodo de esgoto ao processo de condicionamento químico, que pode ser realizado com o uso de polímeros. Uma vez que a oferta de polímeros é grande e o tempo para pesquisa escasso, este estudo teve como objetivo desenvolver uma metodologia rápida e prática para a avaliação do desempenho de polímeros em testes de floculação. A área de estudo foi uma ETE que atua na modalidade de Lodo Ativado de Aeração Prolongada, sendo realizados 34 (trinta e quatro) testes de *Jar-Test* com o uso de 9 (nove) polímeros diferentes durante os meses de janeiro a outubro de 2018. Para a validação estatística do estudo foi realizado o cálculo de quartis com retirada de *outliers*, verificação de padrão de frequência e a regressão linear. Como resultado foi obtido que a metodologia sugerida neste estudo pode ser replicada para avaliação do desempenho de polímeros em testes de floculação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Condicionamento Químico, Polímero, Prensa Parafuso, Tratamento De Lodo.

## INTRODUÇÃO

Com o propósito de reduzir os impactos negativos decorrentes da entrada de efluentes em corpos d'água foram criadas as estações de tratamento de esgoto - ETE, para onde o esgoto de uma população é direcionado.

Na ETE são reproduzidos os processos naturais que ocorrem em um corpo d'água após o lançamento de despejos, entretanto na ETE isso se dá em paralelo a introdução de tecnologia, que busca fazer com que o processo de depuração se desenvolva em condições controladas e em taxas mais elevadas (VON SPERLING, 1996).

Durante o processo são gerados passivos ambientais como o lodo de esgoto, o qual consiste num resíduo semi-sólido, sendo que a sua composição varia de acordo com a sua origem, sistema de tratamento e manejo. De acordo com Imhoff & Imhoff (1996), em um curto espaço de tempo é iniciado o processo de putrefação do lodo, com a geração de odores, por conseguinte, o mesmo deve passar por um tratamento antes de ser direcionado para a sua destinação final.

As etapas do tratamento do lodo são divididas em: adensamento ou espessamento (diminuição do volume devido à remoção da umidade), estabilização (remoção da matéria orgânica), condicionamento (preparação para a desidratação), desaguamento ou desidratação (diminuição do volume em virtude da remoção da umidade), transporte, higienização (morte de organismos patogênicos) e disposição final (IMHOFF; IMHOFF, 1996; VON SPERLING, 2005).

A etapa de condicionamento pode ser química ou térmica, podendo utilizar também polímeros (IMHOFF; IMHOFF, 1996; VON SPERLING, 2005). Os polímeros consistem em compostos orgânicos sintéticos de alto peso molecular e que podem ser empregados como coagulantes ou auxiliares de floculação, com operações de manuseio limpas e seguras, bem como acréscimo na massa de lodo produzida pequeno (GONÇALVES *et al.*, 2001).

Comercialmente são encontrados diversos tipos de polímeros, com diferentes cargas e pesos moleculares, por conseguinte, o conhecimento prévio das particularidades do lodo e do polímero junto aos testes de desempenho, como o *Jar-Test* são de extrema importância para a determinação do polímero ideal, estabelecendo as suas concentração e dosagem ótimas (CUNHA; FRANÇA, 2017).

## OBJETIVO

Desenvolver metodologia rápida e prática para a avaliação do desempenho de polímeros em testes de floculação.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A natureza desta pesquisa se enquadra como aplicada, por buscar gerar conhecimentos para a aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos (PRODANOV; FREITAS, 2013), que neste caso é o desenvolvimento de uma metodologia prática que auxilie na escolha do melhor polímero para a etapa do condicionamento químico do lodo de esgoto e, do ponto de vista de seus objetivos, esta pesquisa se enquadra como exploratória pois busca proporcionar mais informações sobre o processo de floculação do lodo de esgoto em escala laboratorial com o propósito de possibilitar a sua definição e seu delineamento.

A área de estudo se deu em uma ETE na modalidade de Lodo Ativado de Aeração Prolongada, com vazão média diária de operação (referente ao ano de 2016) de 460L/s, com picos de 780 L/s (nos meses de dezembro e janeiro). De acordo com informações cedidas pela autarquia que opera a ETE em questão, a vazão de entrada de esgoto bruto na ETE varia tanto ao longo do ano quanto ao longo do dia.

A Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Nova Esperança é constituída para a fase líquida de tratamento preliminar (gradeamento, peneiramento, retenção de areia e medição de vazão), tratamento secundário (tanque de aeração e decantador secundário) e tratamento terciário (tanque de contato com desinfecção com cloro

gás). Para a fase sólida (lodo excedente) o mesmo é condicionado com polímero e desaguado em prensa parafuso.

Neste estudo, as análises do lodo foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Efluentes (LCQE) da ETE e as amostras de lodo utilizadas foram sempre coletadas no mesmo dia da realização do ensaio, sendo transportadas em galões de 25L. Ao chegar no laboratório, foram medidos os valores de pH e de sólidos suspensos do lodo. Ao todo, foram realizadas 34 (trinta e quatro) testes com o uso de 9 (nove) polímeros diferentes durante os meses de janeiro a outubro de 2018. O *Jar-test* esteve ajustado da seguinte forma: rotação inicial de 250 rpm por 30 segundos, rotação de 90 rpm por 2 minutos, rotação de 60 rpm por 3 minutos, seguido do período estático destinado para decantação dos flocos formados.

Para a validação estatística utilizou-se o tratamento de dados a partir do cálculo de quartis com retirada de *outliers*, a retirada destes dados discrepantes deu-se pela Equação (1) proposta por Bussab & Morettin (1987). Para verificar o padrão de frequência dos dados utilizou-se a curva de frequência, o histograma de frequência e polígono de frequência. Para o grau de relacionamento das variáveis verificou-se a Correlação *r* de Pearson e após fez-se a regressão linear. Os gráficos foram feitos no Excel módulo planilha.

$$Q_3 + \frac{3}{2} d_j < \text{outlier} < Q_1 - \frac{3}{2} d_j \quad (1)$$

Sendo esta fórmula de tratamento indicada para dados normalizados e não normalizados para calcular correlação linear de Pearson – *r*, conforme *r* tabelado, está atendido o pressuposto para calcular a regressão linear, que após testada com os testes de Intervalo de Confiança, Stat *t* e *p*-valor, toma-se a decisão de rejeitar ou aceitar a hipótese de nulidade, validando assim a pesquisa ou não. As hipóteses assumidas foram: H0 – Não há influência significativa do Teor de Sólidos do Lodo Bruto (Tso %) sobre o Teor de Sólidos do Lodo Desidratado (TS %) e H1 – Há influência significativa do Teor de Sólidos do Lodo Bruto (Tso %) sobre o Teor de Sólidos do Lodo Desidratado (TS %).

## RESULTADOS OBTIDOS

A metodologia para avaliação do desempenho de polímeros em testes de floculação inicia com a coleta do lodo de esgoto em galão de 25L. Ao chegar no laboratório, devem ser aferidos os valores de pH e de sólidos suspensos do lodo.

Para calcular a concentração da solução de polímero a ser preparada, pode-se adotar que para 1000kg de massa seca de lodo, se utiliza 8kg de polímero para floculação, sendo que os ensaios devem ser iniciados na faixa de concentração de polímero na solução entre 0,1 e 0,5%.

Ao preparar a solução de polímero, deve-se pesar o polímero em balança de precisão e, para os testes iniciais, utilizar a água destilada como solvente. A solução deve ficar em agitação por, no mínimo, 30 (trinta) minutos ou o tempo indicado pelo fornecedor do polímero. Nesse tempo, deve-se agitar o galão com o lodo de esgoto e depositar cerca de 1L de lodo em cada frasco do *Jar-test*. Quando o tempo de agitação chegar ao fim, o ensaio de floculação deve iniciar.

Em cada jarro adiciona-se um volume diferente de solução e liga-se o *Jar-test* de forma a rodar o programa selecionado. Ao fim do processo, os flocos devem ser avaliados com o auxílio de uma régua (Figura 1). Caso estejam inferiores a 0,5cm, pode-se adicionar mais solução de polímero, até que se atinja o tamanho de floco desejado. Quando o volume de solução necessária for elevado, deve-se realizar novamente o teste com nova solução em concentração superior a testada anteriormente.



**Figura 1 – Medição do floco formado no ensaio de floculação de lodo de esgoto, com polímero catiônico.**

No momento em que for obtido o tamanho de floco almejado, o conteúdo do jarro deve ser despejado no Dispositivo Simulador de Deságue (DSD), posicionado acima de um béquer com capacidade mínima de 1L. O DSD consiste num amassador de batatas onde no fundo foi posicionada uma tela metálica com malha inferior a 1mm, e sua parte superior foi vedada com o auxílio de uma fita de vedação (Figura 2).



**Figura 2 – Dispositivo Simulador de Deságue vista lateral (1), DSD aberto vista superior (2), tela metálica a ser posicionada ao fundo do DSD (3) conforme mostrado na imagem 2.**

Para um deságue bem sucedido, o lodo condicionado deve ficar no DSD por, no mínimo, 30 (trinta) minutos. Inicialmente, deixa-se a parte de cima do DSD repousar sobre o lodo, e aos poucos, pode-se adicionar manualmente pressão, mas sem que haja saída de lodo pela parte inferior do DSD. Passados 10 (dez) minutos, recomenda-se prender a alavanca com fita adesiva, de forma a manter a pressão.

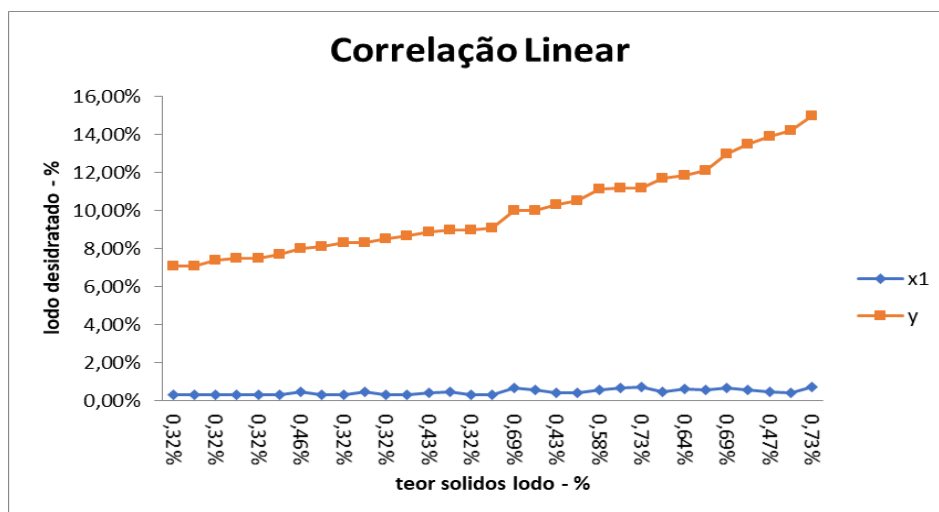
Ao fim, a espessura da torta de lodo desidratada deve ser aferida e a mesma deve ser encaminhada para a determinação da sua umidade, por meio de Analisador de Umidade por Infravermelho ou pelo método Gravimétrico utilizando-se a estufa.

A escolha do melhor polímero pode ser realizada ao determinar o polímero que, com menor consumo específico (kg/ton Massa Seca), possibilitou a formação de uma torta de lodo desidratado com menor umidade. Vale ressaltar que produtos químicos que requerem muito tempo de agitação da solução são inviáveis do ponto de vista prático.

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Foram analisadas 34 amostras que foram submetidas ao ensaio, sendo que 3 foram excluídas pelo cálculo do quartil. Após a retirada de *outliers* os dados apresentaram distribuição de frequência simétrica e com normalização. Na correlação linear a variável independente (x1) foi Teor de Sólidos do Lodo Bruto (Tso %) e a variável dependente (y) foi o Teor de Sólidos do Lodo Desidratado (TS %). A Figura 3 demonstra o gráfico de correlação das variáveis. O grau de correlação linear – r entre o TS % com Tso % demonstrado através de R

múltiplo foi de 70,32%. O coeficiente de determinação R quadrado explica que 49,45% da variação de TS % são explicados pela variação de Tso %. A respeito do Nível de Significância – r, o nível de significância utilizado foi  $\alpha$  ( $p < 0,05$ ) num teste bilateral, o valor absoluto mínimo para o coeficiente de correlação linear ser significativo foi de r: 0,361000 e o valor encontrado foi de r: 0,703203, desta forma o r encontrado foi maior que o r absoluto mínimo, aceitando a hipótese alternativa H1 e considerando a correlação linear como aceitável.

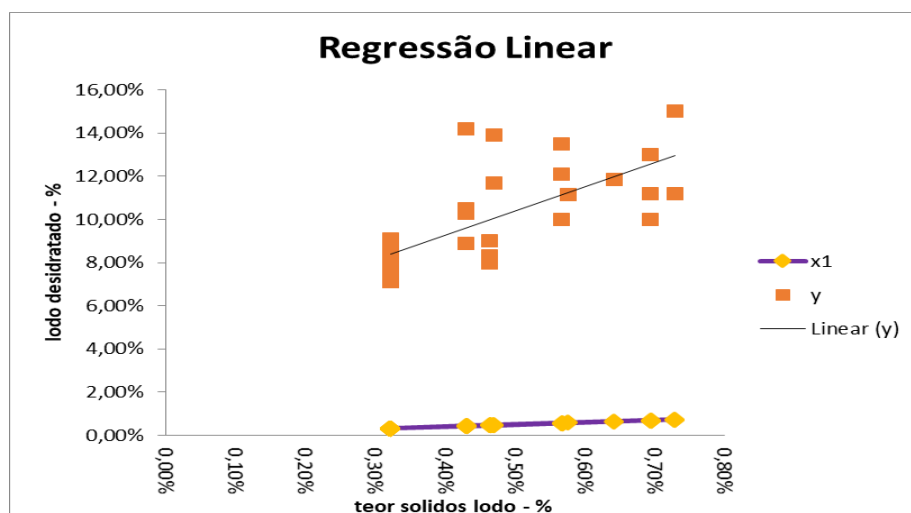


**Figura 3 – Correlação r de Person para as variáveis Teor de Sólidos do Lodo Bruto (Tso %) e Teor de Sólidos do Lodo Desidratado (TS %).**

Para a regressão linear as variáveis assumidas foram as mesmas já citadas. Na Figura 4 é apresentado o gráfico de regressão linear. O modelo matemático da regressão é apresentado na Equação 2, onde a interseção que apresenta TS % é de 0,048100017 e o coeficiente angular que representa o Tso % é 11,18004165. O erro padrão (desvio padrão) está disperso 0,016552929 em torno da reta de regressão.

$$\text{TS \%} = 0,0481000165128092 + 11,1800416482174 * \text{Tso \%} \quad (2)$$

Para o Teste F de significância com nível de significância  $\alpha$  ( $p < 0,05$ ) o valor foi de 0,000010247, logo aceita-se a hipótese alternativa de que há influência significativa do Teor de Sólidos do Lodo Bruto (Tso %) sobre o Teor de Sólidos do Lodo Desidratado (TS %), o que faz com que se considere a regressão como aceitável.



**Figura 4 – Regressão Linear as variáveis Teor de Sólidos do Lodo Bruto (Tso %) e Teor de Sólidos do Lodo Desidratado (TS %).**



## CONCLUSÕES OU RECOMENDAÇÕES

Os testes oferecem suporte que há influência significativa do Teor de Sólidos do Lodo Bruto (Tso %) sobre o Teor de Sólidos do Lodo Desidratado (TS %), corroborando com a Teoria Estatística que explicita que quando  $F$  de significância for menor que  $\alpha = 0,05$  de significância estabelecido e aceito na ciência que engloba a pesquisa, então existe a regressão significativa aceita, que valida a estatística da pesquisa.

Desta forma, a metodologia apresentada neste resumo, referente a avaliação do desempenho de polímeros em testes de floculação pode ser replicada como meio de agilizar o processo de escolha de polímeros uma vez que a mesma centraliza na questão principal do condicionamento químico do lodo, que é possibilitar a máxima retirada de umidade possível do lodo na etapa de deságue.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A.. Estatística básica. São Paulo, Editora Atual, 1987.
2. CUNHA, P. H. M.; FRANÇA, S. C. A. Avaliação de polímeros floculantes no espessamento de pastas minerais e reutilização de água de processo. In: XXV Jornada de Iniciação Científica e I Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Rio de Janeiro. 2017.
3. GONÇALVES, R. F. *et al.* Desidratação de lodo de esgotos. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final, cap. 3. In: Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Cleverson Vitorio Andreoli (coord). Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.
4. IMHOFF, K.; IMHOFF, K. R. Manual de tratamento de águas residuárias. 26 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1986. 301 p.
5. PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. Ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 958 p. Disponível em: <https://bit.ly/2LSQyLQ>. Acesso: 01 de jun. 2018.
6. VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211 p.
7. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.