

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE RESÍDUO DE LODO DE ETA POR GEOTÊXTIL (ESTUDO CASO ETA 006)

**Yitzhak Nunes Ximenes de Melo¹ Rayca Sabrina Caetano², Lucas Damaceno Pereira e Silva³,
Giulliano Guimarães Silva⁴, Sérgio Carlos Bernardo Queiroz⁵**

1 Graduando em Engenharia Civil – IFTO. Bolsista de Iniciação Científica do PIBIC/IFTO. E-mail: yitzhakmelo@gmail.com

2 Graduanda em Engenharia Civil – IFTO. Bolsista de Iniciação Científica do PIBIC/IFTO. E-mail: rsc_raycasabrina@hotmail.com

3 Graduando em Engenharia Civil – IFTO. Bolsista de Iniciação Científica do PIBIC/IFTO. E-mail: lucasifto@gmail.com

4 Professor do IFTO Campus Palmas da Coordenação de Controle Ambiental. E-mail: giulliano.silva@ifto.edu.br

5 Professor da UFT do Curso de Engenharia Ambiental. E-mail: sergiocbp@gmail.com

Resumo: O tratamento de água potável gera grande quantidade de resíduos sólidos, comumente chamado de lodo de ETA. O lançamento deste material sem o devido tratamento nos corpos d'água causam imensos impactos ambientais. Entretanto, nos últimos anos vem crescendo a quantidade de sistemas de tratamento dos lodos de ETA no Brasil. O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência de uma unidade de tratamento de resíduos, na ETA 06 localizada na cidade de Palmas-TO. Foram coletados dados operacionais da unidade para verificar a eficiência do sistema. Os dados foram analisados estatisticamente para ver a relação entre diversos fatores operacionais do sistema como: dosagem de polímero, turbidez da água clarificada e volume bombeado de lodo. Por meio de uma avaliação de regressões lineares, chegou-se à conclusão que os fatores não apresentaram relação ao nível de significância de 95%. Entretanto o sistema apresentou grande eficiência no tratamento, pois a turbidez da água clarificada poderia ser descartada diretamente no corpo d'água, pois atende ao recomendado pela resolução Conama 357/2005, contudo a mesma está sendo reaproveitada na estação de tratamento.

1 INTRODUÇÃO

A água em seu estado natural, quando coletada em mananciais, apresenta inúmeras impurezas que podem causar efeitos nocivos à saúde humana. Na necessidade de fornecer água potável para abastecimento público, as Estações de Tratamento de Água – ETAs são projetadas e operadas para remover estas impurezas, produzindo água com características que atendam ao padrão de potabilidade brasileiro estabelecido pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.

Os resíduos gerados nas ETAs são provenientes das limpezas ou descargas dos decantadores (ou eventualmente em flotores) e da lavagem dos filtros. Em uma estação de ciclo completo, a lavagem dos filtros produz a maior quantidade desses resíduos em termos volumétricos, já o decantador produz a maior quantidade em termos mássicos. Outras atividades desenvolvidas na estação, como as lavagens de tanques de preparação de produtos químicos, também contribuem para a geração desses resíduos (DI BERNARDO & DANTAS, 2005)

Os resíduos gerados das ETAs precisam ser dispostos em local adequado conforme legislação vigente da região. A estação de tratamento de água ETA – 06 em Palmas-TO, é a maior ETA do estado do Tocantins, com uma vazão média de operação de 800 L/s. A mesma

possui uma estação de tratamento de resíduo (ETR), com a disposição final do lodo desaguado em Bags de geotêxtil. ETR é composta pelas seguintes unidades: Tanque de Clarificação da Água de Lavagem dos Filtros (TCALF); Tanque de Recepção da Descarga dos Decantadores e Sedimento da Água de Lavagem dos Filtros (TRDD/SALF); Sistema de Desaguamento de Lodo em Bags de Geotêxtil e Tanque de Água Recuperada (TAR). (HIDROSAN,2011)

O trabalho teve como objetivo avaliar a operação da ETR, verificando as condições operacionais, e os fatores que influenciam no processo de tratamento.

2 METODOLOGIA

Foram coletados os dados da ETA – 06 entre o período de abril e março de 2017. Os valores de turbidez do Tanque de Água Recuperada (TAR), o volume bombeado para o TAR, provenientes do TCALF e a dosagem do polímero Tanque de Clarificação da Água de Lavagem dos Filtros (TCALF), foram as informações coletadas. Foi utilizado o valor médio da turbidez diária, o volume total diário bombeado e a média da dosagem de polímero.

Após a coleta dos dados foi realizado um trabalho estatístico por meio do software Excel da Microsoft. Foi realizada a análise para identificar o nível de significância que o que volume total diário bombeado e a turbidez média diária, que são as variáveis independentes, influenciam na dosagem de polímero média diária do TCALF, que é a variável dependente. Individualmente foi analisada somente a turbidez (independente). As investigações sobre as duas variáveis independentes, no que diz respeito, a influência sobre a dependente, também foi realizada. Foram analisados com o intervalo de confiança de 95%.A metodologia do Teste para variância é a estatística F (Fisher-Snedecor).

Após elaborado o modelo matemático, a análise é realizada para verificar a significância dos coeficientes encontrados e o nível de representatividade do modelo. Foram feitas três análises, do intervalo de confiança, do “Stat t” e do Valor-P. Caso o modelo atenda esses três requisitos, foi analisado a representatividade do modelo. A análise é feita a parti do R-Quadrado. Ele representa a porcentagem dessa representatividade. Por exemplo, caso o seu valor for igual a 0,56, logo, a representatividade do modelo é igual a 56% dos casos que vão ocorrer.

A seguir os gráficos que representam a coleta de dados da ETA-06. Nos dias quatro de abril e treze de março, não foi possível obter valores dos três parâmetros para assim realizar a análise.

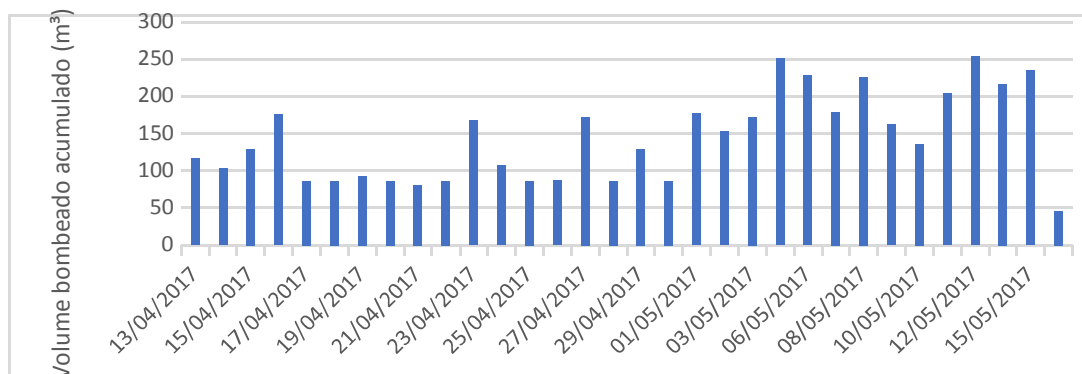


Figura 1 – Valores do volume bombeado total diário no período de abril de 2017 a março de 2017 da água do TAR da ETA-06

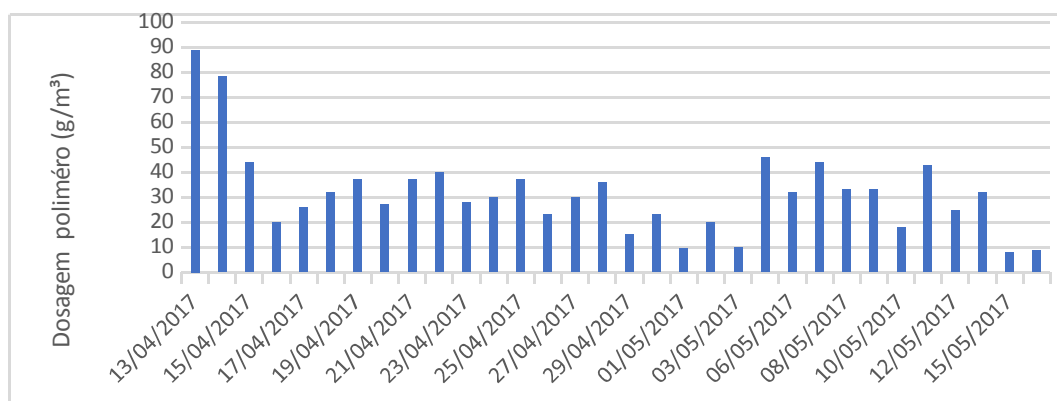


Figura 2 – Valores da dosagem de polímero média diária no período de abril de 2017 a março de 2017 da água do Tanque de Clarificação da Água de Lavagem dos Filtros (TCALF) da ETA-06

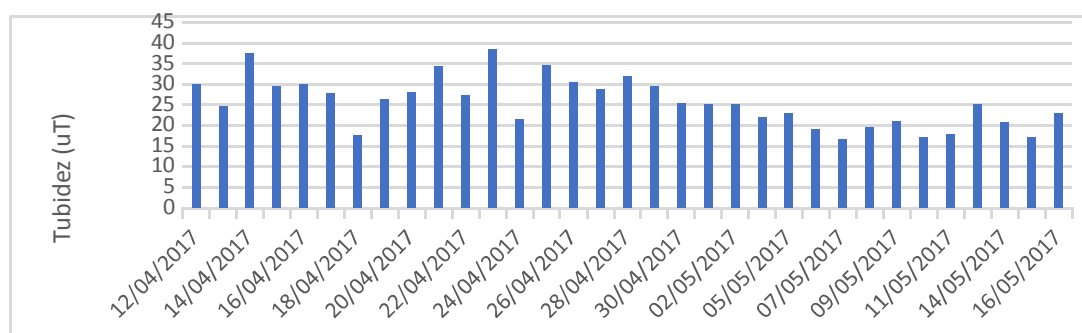


Figura 3 – Valores da turbidez média diária no período de abril de 2017 a março de 2017 da água do Tanque de Clarificação da Água de Lavagem dos Filtros (TCALF) da ETA-06

A elaboração de vários modelos foi necessária, para ter uma análise mais global da influência das variáveis.

As hipóteses levantadas para verificação, são:

- $H_0: B=0$: Não há influência do volume bombeado e turbidez na dosagem do polímero;
- $H_1: B \neq 0$: Há influência do volume bombeado e turbidez na dosagem do polímero.

Os dados foram descritos de forma de tabelas e posteriormente utilizado a função análise de dados. Foi selecionado os valores de dosagem de polímero como variável dependente (Y) e após selecionado os valores de volume bombeado e turbidez como variáveis independentes (X). Os resultados obtidos foram:

Resumo dos resultados, relação dosagem do polímero x turbidez.

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,2122
R-Quadrado	0,0450
R-quadrado ajustado	0,0132
Erro padrão	17,2478
Observações	32

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	421,0054	421,005 4	1,4152	0,2435
Resíduo	30	8924,6058	297,486 9		
Total	31	9345,6111			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	16,1395	13,4208	1,2026	0,2385	-11,2694	43,5485
Turbidez (uT)	0,6105	0,5132	1,1896	0,2435	-0,4376	1,6586

Tabela 1 – Análise da variável turbidez sobre a dosagem de polímero

O modelo matemático fornecido, é: $y = 16,1395 + 0,6105 X_1$. Sendo y a dosagem de polímero e X_1 o valor da turbidez.

Para verificar a hipótese levantada é necessário a verificação do modelo. A seguir foi feito os testes.

Primeiro teste (Intervalo de confiança): Intervalo de confiança é 95%, logo, o intervalo está entre -0,4376 e 1,6586 para a turbidez. Como zero e o coeficiente angular estão dentro do intervalo logo nossa hipótese nula é verdadeira. Concluindo não haver relação entre os parâmetros relacionados.

Segundo teste (Stat t): Verificasse se os coeficientes angulares estão distantes em relação dos coeficientes de população. O cálculo do coeficiente crítico se dá por ((Coeficiente - 95% inferior) /erro padrão) = “t” crítico), logo, para a turbidez 0,2435 está entre -2,04 e 2,04. Concluimos que a hipótese nula é verdadeira significando novamente que a falsa relação entre os parâmetros.

Resumo dos resultados, relação dosagem do polímero x volume bombeado e turbidez.

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,2125
R-Quadrado	0,0451
R-quadrado ajustado	-0,0207
Erro padrão	17,5418
Observações	32

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	421,8667	210,933 4	0,6855	0,5118
Resíduo	29	8923,7444	307,715 3		
Total	31	9345,6111			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	16,9263	20,1857	0,8385	0,4086	-24,3581	58,2108
Turbidez (uT)	0,5973	0,5785	1,0326	0,3103	-0,5858	1,7804
Volume (m³)	-0,0031	0,0592	-0,0529	0,9582	-0,1243	0,1180

Tabela 2 – Análise das variáveis turbidez e volume sobre a dosagem de polímero.

O modelo matemático fornecido, é: $y = 16,9263 + 0,5973 X_1 - 0,0031 X_2$. Sendo “y” a dosagem de polímero, x_1 a turbidez e x_2 o volume bombeado.

Para verificar a hipótese levantada é necessário a verificação do modelo. A seguir foi feito os testes.

Primeiro teste (Intervalo de confiança): Intervalo de confiança é 95%, logo, o intervalo está entre -0,5858 e 1,7804 para a turbidez e entre -0,1243 e 0,1180 para o volume. Como zero e

o coeficiente angular estão dentro do intervalo logo nossa hipótese nula é verdadeira. Concluindo não haver relação entre os parâmetros relacionados.

Segundo teste (Stat t): Verificasse se os coeficientes angulares estão distantes em relação dos coeficientes de população. O cálculo do coeficiente crítico se dá por ((Coeficiente - 95% inferior) / erro padrão) = “t” crítico), logo, para o volume o -0,0529 está entre -2,15 e 2,15. Para a turbidez 1,0326 está entre -2,05 e 2,05. Concluimos que a hipótese nula é verdadeira significando novamente que a falsa relação entre os parâmetros.

Foi discutido outros modelos, como logarítmicos, exponencial e quadráticos, mas não alcançando também uma relação expressiva das duas variáveis independentes com a dependente. Uma análise mais empírica a partir de um gráfico linear foi necessária. A análise mostrou uma tendência gráfica da dosagem do polímero acompanhando a inclinação da turbidez. Como é mostrado no próximo gráfico.

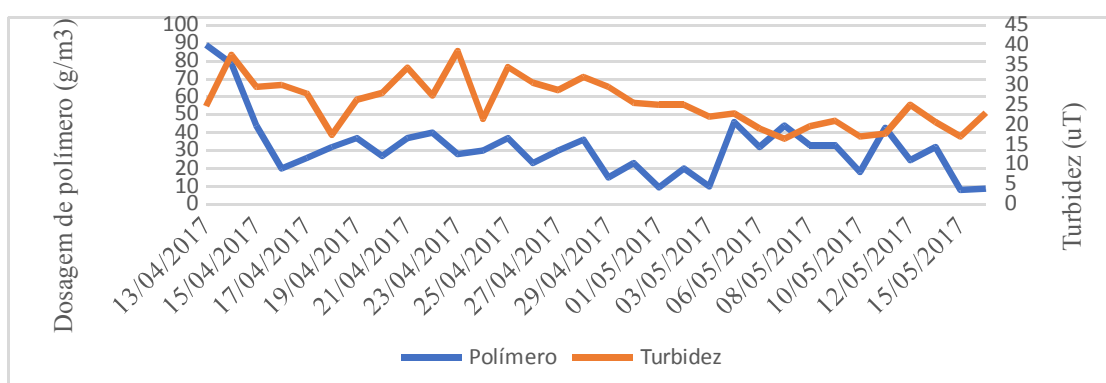


Figura 4 – Valores da turbidez média diária no período de abril de 2017 a março de 2017 da água do Tanque de Clarificação da Água de Lavagem dos Filtros (TCALF) da ETA-06

Foi assim testado o modelo que tem uma melhor representatividade essa relação entre a turbidez e a dosagem de polímero, numa relação exponencial.

Estadística de regressão

R múltiplo	0,5103
R-Quadrado	0,2604
R-quadrado ajustado	0,2358
Erro padrão	5,2769
Observações	32

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	294,1343	294,1343	10,5631	0,0028
Resíduo	30	835,3671	27,8456		

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	24,7411	0,9592	25,7933	22	22,7822	26,7001
$e^{(turbidez)}$	3,15045E-16	9,69342E-17	3,2501	0,0028	1,17078E-16	5,13011E-16

Tabela 3– Análise das variáveis turbidez sobre a dosagem de polímero.

O modelo matemático fornecido, é: $y = 24,7411 + e^x$, sendo que e^x é o número de Euler elevado ao valor da turbidez.

Para verificar a hipótese levantada é necessário a verificação do modelo. A seguir foi feito os testes.

Primeiro teste (Intervalo de confiança): Intervalo de confiança é 95%, logo, o intervalo está entre 1,17078 E-16 e 5,13011 E-16 para a turbidez e o coeficiente angular está neste intervalo 3,15045 E-16. Como zero não está dentro do intervalo, logo, nossa hipótese nula é verdadeira, pois a conclusão é que o coeficiente angular é zero. Concluindo haver relação entre os parâmetros relacionados. Pode-se dizer que com base do coeficiente angular da amostra, que a população pode variar de 1,17078 E-16 a 5,13011 E-16 com 95% de confiança.

Segundo teste (Stat t): Verificasse se os coeficientes angulares estão distantes em relação dos coeficientes de população. O cálculo do coeficiente critico se dá por ((Coeficiente - 95% inferior) /erro padrão) = “t” crítico), logo, para a turbidez, o “stat t”, 3,25 está fora do intervalo entre -2,04 e 2,04. Concluimos que a hipótese nula é falsa significando novamente que a uma relação entre os parâmetros turbidez e dosagem do polímero.

Terceiro teste (Valor-P): Ao analisar o Valor-P, 0,0028, concluímos que é menor que o alfa escolhido =0,05, como é menor rejeitamos a hipótese nula que H=0. Aceitasse a hipótese H≠0, assim concluímos que o parâmetro tem influência.

Como os três testes tiveram uma resposta positiva a hipótese nula podemos concluir que esse modelo tem uma representatividade. Mas com pouca influência, pois quando analisamos o R-Quadrado temos só 26,04%. Significando que só 26,04% dos casos vão ocorrer conforme esse modelo.

A partir dos resultados obtidos podemos concluir:

- Foi possível notar que não existe uma relação do volume bombeado para o TAR, provenientes do TCALF e da turbidez do TAR em relação a dosagem de polímero do TAR, juntamente.
- É notório que nos períodos quando se aumentou o volume bombeado a turbidez teve uma queda. Entre os dias cinco e quinze de março. E a turbidez também acompanhou a tendência. Logo, a relação não é direta podendo ser modelada matematicamente por uma função exponencial mas deve ser ajustada para melhorar a representatividade e influência do modelo matemático com outros parâmetros. Devido o TAR não receber somente água do TCALF, receber água da lavagem de filtro, esse deve ser outro parâmetro a ser colocado no modelo. Outro parâmetro a ser incluído no modelo é a tendência do clima, pois o regime de chuva deve influenciar.
- O sistema de tratamento apresentou grande eficiência da redução da turbidez do lodo da ETA, conseguindo reduzir os valores no efluente para abaixo de 100 uT. Assim o efluente poderia ser diretamente lançado no corpo receptor, pois atende ao estabelecido pelo Conama 357/2005. Entretanto a água clarificada está sendo reaproveitada na ETA, voltando ao início do tratamento de água.

REFERÊNCIAS

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT. **NBR 10.004** –Resíduos sólidos - Classificação, Rio de Janeiro, 2004.

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.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 13, jan/mar 2008.

BRASIL. Crimes Ambientais: **Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998** – Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF, 1998.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. **Lei nº 9.433 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recurso Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento do Recursos Hídrico. Brasília, DF, 1997

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914 de 14 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D., VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** Editora LDiBe, São Carlos – SP, 2011



DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D., VOLTAN, P. E. N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** EditoraLDiBe, São Carlos – SP, 2012.

DI BERNARDO, L. D.; DI BERNARDO, A. D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** 2. ed., Vol 2. São Carlos: Rima, 2005.

FOWLER, J.; BAGBY, R. M.; TRAINER, E. Dewatering sewage sludge with geotextile tubes. **Geotechnical Fabrics Report**, v. 15, n.7., p. 26-30, 1997.

HIDROSAN ENGENHARIA SS LTDA (2011). **Projeto Hidráulico do Sistema de Tratamento de Resíduos Gerados em ETA de Ciclo Completo.**

GAFFNEY, D.A.; MARTIN, S.M.; MAHER, M.H.; BENNET, T.A. ;(1999). **Dewatering contaminated, fine grained material using geotextiles.** In:

GEOSYNTHETICS, 1999, Boston. Proceedings... Roseville, MN: [s.n.], 1999. p. 1016- 1031.

GUANAES, E. A. **Análise do Desaguamento do Lodo Residual de Estação de Tratamento de Água por Meio de Geossintéticos.** 129 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – CEFET, Minas Gerais, 2009.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** EditoraÁtomo, 3º ed. Campinas – SP, 2010.

LIAO, K and BHATIA, S. **Evaluation on filtration performance of woven geotextiles by falling head, pressure filtration test, and hanging bag tests.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSYNTHETICS, 8., 2006, Yokohama. Proceedings... Rotterdam: Millpress, 2006.

MARTINS, P. M. **Utilização de tubos de geotêxteis para o desaguamento de rejeitos de mineração.** 2006. 161 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos

MOO-YOUNG, H. K.; GAFFNEY, D. A.; MO, X. **Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes.** Geotextiles and Geomembranes, v. 20, p. 289-