

II-067 – CONTROLE DA QUALIDADE ESTATÍSTICA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) UTILIZANDO GRÁFICOS DE CONTROLE DA MÉDIA MÓVEL EXPONENCIALMENTE PONDERADA

Fábio Orssatto⁽¹⁾

Tecnólogo Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Saneamento e Recursos Hídricos pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Docente do Instituto Federal Farroupilha – Campus Panambi.

Marcio Antonio Vilas Boas⁽²⁾

Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Lavras. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP). Docente da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Marta Cecato Armando⁽³⁾

Tecnóloga em Gerenciamento Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestranda em Energia na Agricultura na UNIOESTE.

Endereço⁽¹⁾: Rua Erechim, 860 - Planalto - Panambi - RS - CEP: 98280-000 - Brasil - Tel: (55) 3375-1698 - e-mail: fabio@pb.iffarroupilha.edu.br

RESUMO

A maioria das estações de tratamento encontra-se trabalhando acima de sua capacidade e requerendo um aumento de vazão em função da demanda que aumenta dia após dia. Uma grande parte dessas estações utiliza tradicionalmente o sulfato de alumínio como coagulante primário e poucas vezes usam algum tipo de polímero como auxiliar de floculação. Na escolha desses produtos nem sempre a qualidade da água a ser tratada é levada em consideração. Procurando atender aos padrões de qualidade exigidos e a sobrecarga que muitas vezes é inevitável, observa-se que em cada caso haverá um coagulante e/ou um auxiliar de floculação mais adequado a essas situações. De posse de tal constatação, faz-se necessário que se investigue em laboratório por meio novas metodologias, os vários produtos que aplicados à água bruta possibilitam obter água tratada com qualidade, em quantidade satisfatória, visando sempre o menor custo.

Sendo assim, o presente trabalho vem relatar um estudo realizado em uma estação de tratamento de água projetada para a vazão nominal de 120 L/s porém, funcionando com 158 L/s, apresentando por esse motivo, água decantada com altos valores de turbidez e cor, o que sobrecarrega os filtros.

Os estudos realizados nessa estação resultaram não só a melhoria da qualidade da água decantada e filtrada como também possibilitou o aumento de sua capacidade com razoável economia dos produtos químicos que atuam na coagulação. A estação trata atualmente a vazão de até 280 L/s, mantendo a qualidade da água conforme os padrões exigidos pela portaria 36/GM, de 1990.

PALAVRAS-CHAVE: Aumento de Capacidade, Melhoria da Qualidade, Água com Alcalinidade, Coagulante Adequado, Auxiliares de Floculação.

INTRODUÇÃO

A humanidade tem-se deparado com o problema da escassez de água como uma ameaça para a saúde humana e a vida do Planeta. A escassez ou falta de água afeta mais de 40% da população mundial, por razões políticas, econômicas, e climáticas (BRITTO & RANGEL, 2008). Com isso, os serviços de saneamento como a coleta e tratamento de esgoto tornam-se importantes para a garantia da qualidade de vida de uma população.

O impacto do lançamento de efluentes originados de estações de tratamento de esgotos em corpos d'água é motivo de grande preocupação para a maioria dos países. Assim, uma série de legislações ambientais, critérios, políticas e revisões procuram influir tanto na seleção dos locais de descarga quanto no nível de tratamento exigido para garantir que os impactos ambientais provocados pela disposição dos efluentes tratados sejam aceitáveis (OLIVEIRA & SPERLING, 2005a).

Os campos da engenharia sanitária e ambiental, aliados à biotecnologia, têm evoluído rapidamente no desenvolvimento de métodos para o tratamento de águas residuárias. Isso ocorre principalmente em razão das exigências cada vez maiores dos órgãos públicos de controle ambiental, como resposta ao interesse da saúde pública, das crescentes condições adversas causadas pelas descargas de águas residuárias e de uma maior cobrança da sociedade na defesa do ambiente (CATTONY et al, 2007).

No Brasil, apesar de estudos e avaliações em escala piloto ou em ETEs individuais, o conhecimento sobre o desempenho das tecnologias de tratamento de esgotos em operação no País é relativamente esparsa (OLIVEIRA & SPERLING, 2005a).

Sabe-se que, geralmente, não existe apenas uma variável responsável pela qualidade e variabilidade do efluente, o qual depende: de variações na carga afluente, das condições ambientais nos reatores, da natureza do esgoto a ser tratado, da presença de substâncias tóxicas, da variabilidade inerente aos processos de tratamento biológico e de falhas mecânicas e humanas no sistema. Todos esses fatores podem levar a problemas e instabilidade nos processos, assim ocasionarão efeitos adversos na qualidade do efluente (OLIVEIRA & SPERLING, 2005b). Para isso, devem-se usar técnicas e meios que sejam eficazes na identificação das falhas dos processos de tratamento.

Uma técnica para verificar se o tratamento do esgoto é ou não eficaz é a aplicação de métodos estatísticos do controle de qualidade. Apesar de essas técnicas serem amplamente utilizadas em processos industriais, Montgomery (2004) cita que as técnicas estatísticas de controle da qualidade podem ser aplicadas em processos industriais ou não industriais. Já Corbett & Pan (2002) apontam que as técnicas de controle estatístico de qualidade estão sendo aplicadas em vários trabalhos para a avaliação de desempenho ambiental.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho de uma estação de tratamento de esgoto através de cartas de controle de qualidade estatística da média móvel exponencialmente ponderada.

MATERIAIS E MÉTODOS

A estação de tratamento de esgoto em questão localiza-se no Município de Cascavel, Paraná, com as seguintes coordenadas geográficas: 24° 56' 07" Sul e 53° 30' 12" Oeste. Denominada como Ete Oeste, a estação é constituída por um sistema de gradeamento de barras com limpeza manual, desarenador gravitacional de fluxo tangencial com retirada de areia por *air-lift*, medidor de vazão calha parshall, tratamento biológico anaeróbio através de dois reatores de fluxo ascendente e manta de lodo (RALFs) em paralelo, tratamento complementar por processo físico-químico de coagulação, floculação e decantação laminar, sendo usado o cloreto férrico como coagulante, calha *parshall* e desinfecção do efluente final por cloração.

O *layout* da estação pode ser observado na Figura 1. Essa estação atende a uma população de aproximadamente 45.000 habitantes, com vazão média de 8 L s⁻¹. Os reatores possuem um diâmetro superficial de 26 metros, um diâmetro de fundo de 14 metros e altura útil de 6 metros. A estação também apresenta leitos de secagem para a remoção da umidade e redução do volume do lodo provindo dos RALFs.

O corpo receptor da estação é o córrego Bezerra. Segundo Orssatto (2008), o córrego Bezerra é um afluente do Rio das Antas que localiza-se na bacia do Paraná III. É um rio perene, considerado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) como classe II, conforme classificação da resolução do Conselho Nacional do Meio ambiente (CONAMA) 357 (BRASIL, 2005) e apresenta características lóxicas.

O ponto monitorado da estação de tratamento de esgoto foi o esgoto tratado, após a desinfecção sendo que a base de dados compreende um período de janeiro de 2006 a janeiro de 2009 com periodicidade mensal

Os parâmetros avaliados foram o potencial hidrogeniônico (pH), sólidos sedimentáveis (SSed) e demanda química de oxigênio (DQO) sendo que o pH foi analisado pelo método potenciométrico e os demais seguiram as recomendações do *Standart Methods* (APHA, 1998).

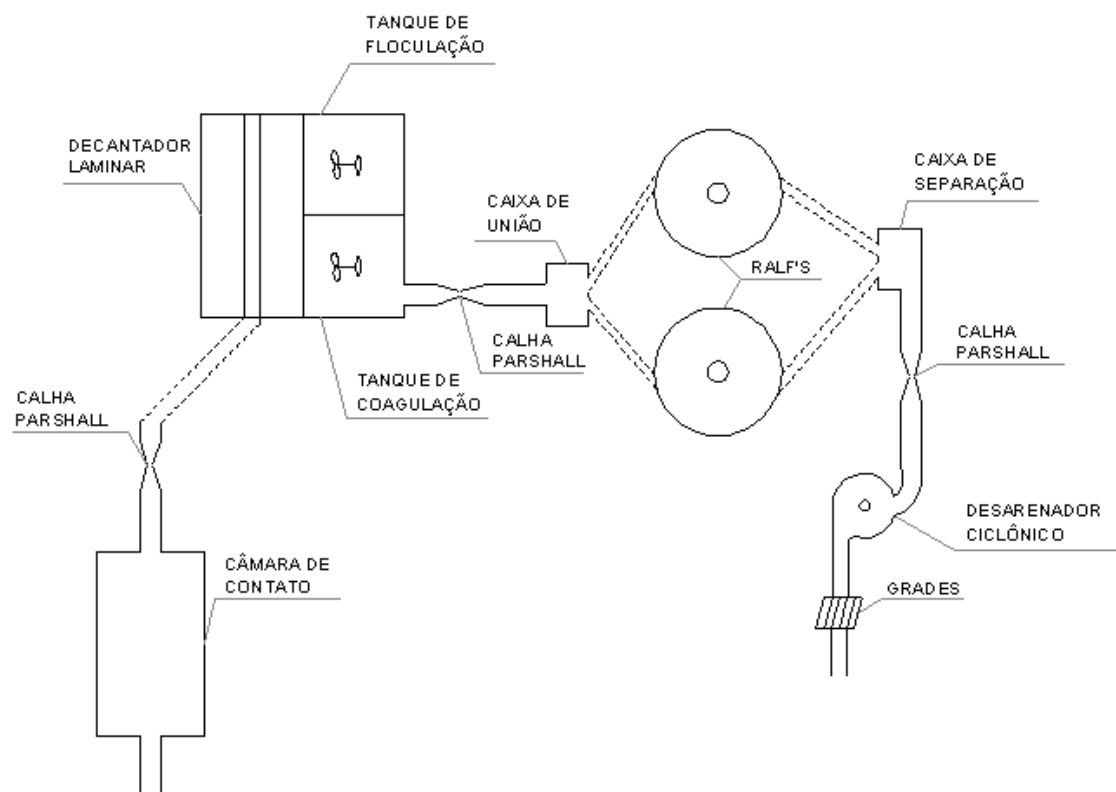


Figura 1: Layout da ETE.

Para todas as variáveis estudadas foi aplicada estatística descritiva através do registro das médias, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo e como técnica de controle estatístico de qualidade a carta ou gráfico de controle da média móvel exponencialmente pondera (MMEP).

Para a aplicação de técnicas de controle estatístico de processos, necessita-se que os dados sejam distribuídos normalmente com uma variação média e constante fixa. Os testes de normalidade aplicados a este trabalho foram os de Anderson-Darling, Ryan-Joiner (similar ao Shapiro-Wilk) e Kolmogorov-Smirnov sendo que se acusar normalidade em um dos testes, considera-se distribuição normal dos dados. Quando os dados medidos não seguiram a distribuição normal, aplicou-se a técnica de transformação *Box-Cox*.

Para o uso e aplicação de cartas de controle, os dados devem apresentar independência entre si sendo de fundamental importância a investigação da autocorrelação do grupo de informações. A verificação da autocorrelação ocorreu através da função de autocorrelação amostral (MONTGOMERY, 2004).

A carta MMEP é uma ferramenta útil para monitorar a variabilidade de uma característica de qualidade e é usada principalmente para detectar deslocamentos persistentes em um processo, cuja principal vantagem é a revelação rápida de deslocamentos pequenos e moderados (MARAVELAKIS & CASTAGLIOLA, 2009).

As cartas ou gráficos MMEP foram construídos conforme recomendações de Montgomery (2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta o resumo estatístico das variáveis avaliadas no efluente tratado da estação de tratamento de esgoto.

A variável pH apresentou um valor médio próximo da neutralidade e variou entre 6,4 e 8,3. O coeficiente de variação ficou a baixo de 10 % (por cento) e dessa maneira há baixa variabilidade nos dados (GOMES, 1987). Ao observar o p-valor do teste de normalidade, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais não é rejeitada considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados apresentam uma distribuição normal. Em

relação ao pH, todas as amostras ficaram dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05. Silva et al (2007) encontraram um valor médio de pH igual a 6,9 após a adição de cloreto férrico para o pós-tratamento de um efluente doméstico de uma estação de tratamento contendo um reator anaeróbio de fluxo ascendente como tratamento biológico.

Para os sólidos sedimentáveis, os valores situaram-se entre 0,1 a 1,8 mL L⁻¹ H⁻¹ e apresentam alta variabilidade, pois o coeficiente de variação ficou acima de 20% (GOMES, 1987). Ao se observar o p-valor do teste de normalidade, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais é rejeitada, considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados não apresentam distribuição normal de probabilidade. A alta variabilidade nos dados pode ser justificada pelo arraste de sólidos do decantador do tratamento físico-químico nos horários de pico de vazão. Em relação aos sólidos sedimentáveis, apenas 3 % das amostras ficaram acima do limite máximo permitido para o lançamento de efluentes estabelecido pela resolução CONAMA 357/05.

Para a variável DQO, os valores variaram de 60 a 263 mg L⁻¹. O coeficiente ficou acima de 30% e apresentou alta variabilidade dos dados. Ao se observar o p-valor do teste de normalidade, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais não é rejeitada, considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados apresentam uma distribuição normal de probabilidade. Quanto ao limite máximo de lançamento para a DQO, observa-se que 30,3% das amostras ultrapassaram o limite permitido pela licença ambiental da estação. Santos (2006), ao utilizar cloreto férrico no pós-tratamento de efluente de reator de manta de lodo, alcançou valores que variam de 97 a 160 mg L⁻¹ de DQO.

Tabela 1: Estatística descritiva dos dados referentes ao esgoto tratado.

Variável	Média	Desvio padrão	C.V (%) ¹	Mínimo	Máximo	p-valor ²	AC ₃
pH	7,10	0,40	5,70	6,40	8,30	0,093	Não
Ssed (mL L ⁻¹ H ⁻¹)	0,33	0,35	105,92	0,10	1,80	<0,005	Não
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	130,28	48,61	37,31	60,00	263,00	0,102	Não

¹ Coeficiente de variação em porcentagem. ² p-valor do teste de normalidade. ³ Autocorrelação temporal e dependência dos dados.

Na Figura 2, está o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável pH.

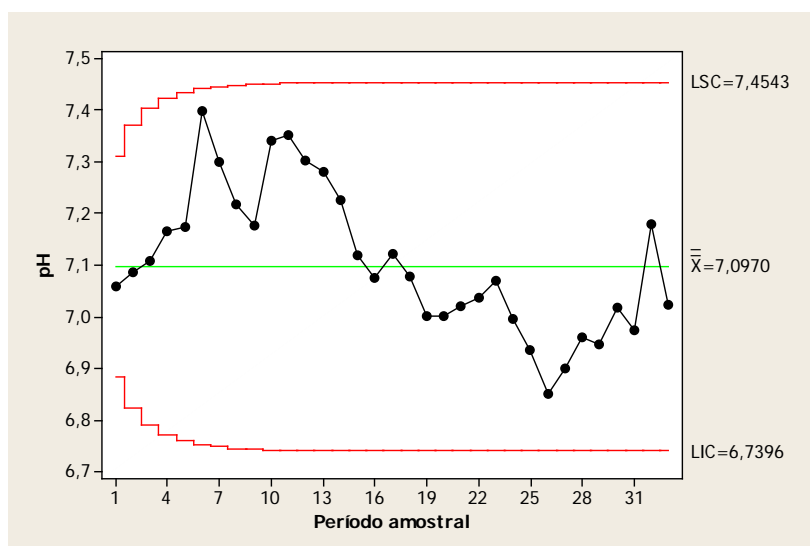


Figura 2: Gráfico MMEP para o pH no esgoto tratado.

No gráfico MMEP para o pH, observa-se que o processo está sob controle estatístico pois nenhum dado extrapolou os limites de controle. Isso indica que para a variável pH, a estação de tratamento possui uma boa resposta, não apresentando variações significativas.

Na Figura 3, observa-se o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos sedimentáveis.

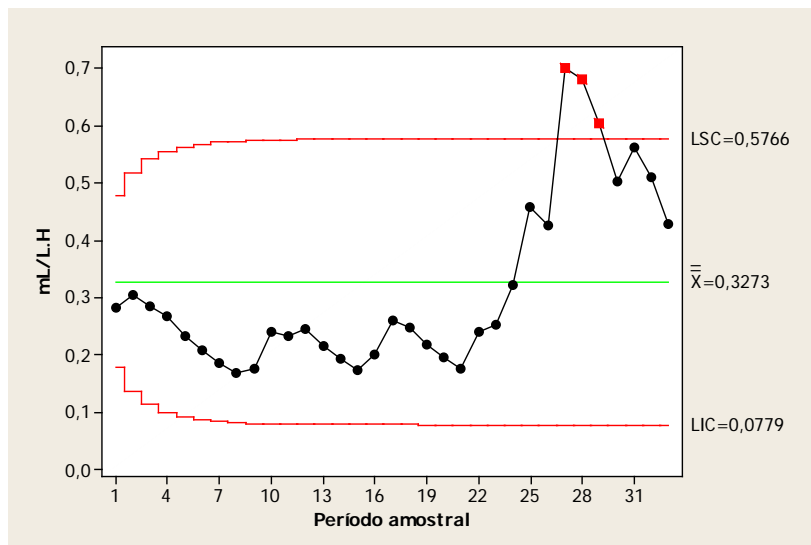


Figura 3: Gráfico MMEP para os sólidos sedimentáveis no esgoto tratado.

Para o parâmetro sólidos sedimentáveis o gráfico MMEP mostrou falhas no processo, bem como apresentou uma mudança significativa no processo a partir do ponto 24. Isso fez com que houvesse um deslocamento no nível do processo, o qual é resultado do aumento da concentração de sólidos sedimentáveis no efluente final, e pode ser devido às variações de vazão e ao horário não padronizado da coleta, pois em horários de pico de vazão, ocorre o arraste de sólidos dos decantadores do tratamento físico-químico da estação de tratamento.

Na Figura 4, está o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável DQO.

Observa-se, que o processo está sob controle estatístico o qual indica um bom comportamento no que diz respeito a remoção de matéria orgânica, não em termos de eficiência e sim em estabilidade do processo pois não há uma variação suficiente para que algum ponto do gráfico exceda os limites de controle.

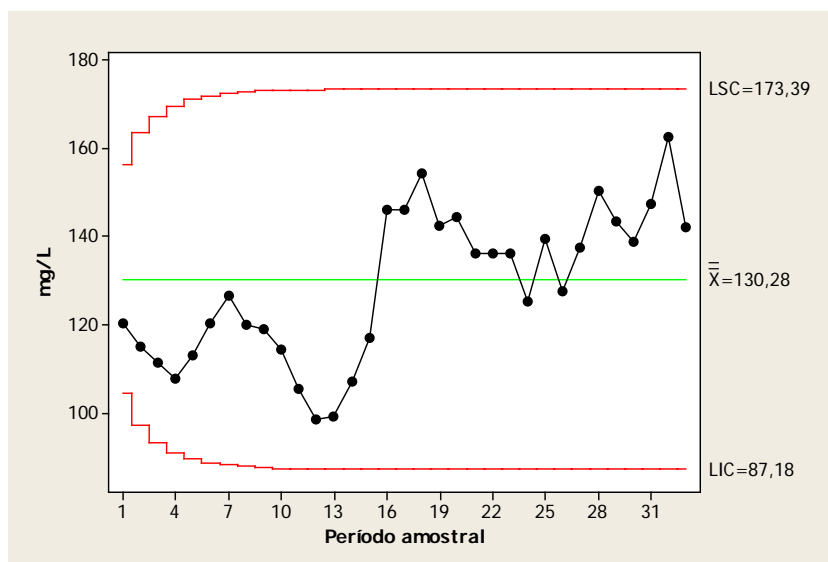


Figura 4: Gráfico MMEP para a DQO no esgoto tratado.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

As cartas MMEP acusaram que estação de tratamento de esgoto apresentou bom comportamento para o pH e DQO e falhas para os sólidos sedimentáveis;

O processo utilizado na ETE não é capaz de reter sólidos com eficiência em todo o momento de sua operação;

As cartas de controle MMEP também se apresentam como uma boa alternativa, pois possuem um bom funcionamento para dados sem normalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRITTO, J. M.; RANGEL, M. C. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. *Química Nova*. v. 31, n. 1, p. 114-122, 2008.
2. OLIVEIRA, S. M. A. C.; SPERLING, M. V. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I – Análise de desempenho. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 10, n. 4, p. 347 – 357, 2005a.
3. OLIVEIRA, S. M. A. C.; SPERLING, M. V. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte II – Influência de fatores de projeto e operação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 10, n. 4, p. 358 – 368, 2005b.
4. MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Tradução: Farias, A. M. L., Flores, V. R. L. F., Laurencel, L. C. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC. 2004.
5. CORBETT, C. J.; PAN, J. N. Evaluating environmental performance using statistical process control techniques. *European Journal of Operation Research*. v. 139, n. 1, p. 68 – 83p. 2002.
6. ORSSATTO, F. Avaliação do oxigênio dissolvido do córrego Bezerra a montante e jusante de uma estação de tratamento de esgoto sanitário, Cascavel, Paraná. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 6, supl. 1, p. 27 – 28, 2008.
7. BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiental – Resolução 357/05. Brasília, 2005.
8. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ª ed. Estados Unidos da América, 1998.
9. MARAVELAKIS, P. E.; CASTAGLIOLA, P. An EWMA chart for monitoring the process standard deviation when parameters are estimated. *Computational Statistic and Data Analysis*, v. 53, p. 2653 – 2664, 2009.
10. GOMES, F. P. A estatística na agropecuária. Piracicaba: Pofatos, 1987.
11. SILVA, M. E. R.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. *Rev. Tecnol. Fortaleza*, v. 28, n.2, p. 178 – 190, 2007.
12. SANTOS, H. R. Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação. São Paulo, 2006. Tese de Doutorado-Hidráulica e Saneamento-Universidade de São Paulo, USP, 2006.