

Gráfico de controle da média móvel exponencialmente ponderada: aplicação na operação e monitoramento de uma estação de tratamento de esgoto

Exponentially weighted moving average control chart: application in the operation and monitoring of a sewage treatment plant

Fábio Orssatto¹, Marcio Vilas Boas², Eduardo Eying³

RESUMO

Este trabalho teve 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 (MMEP). A estação de tratamento de esgoto estudada localiza-se no Município de Cascavel, Paraná. Os parâmetros avaliados foram o potencial hidrogeniônico (pH), sólidos sedimentáveis (SSed), sólidos suspensos totais (SST), demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). As cartas MMEP acusaram que estação de tratamento de esgoto apresentou bom desempenho estatístico para o pH, sólidos suspensos totais, DQO e DBO e falhas para os sólidos sedimentáveis. As cartas de controle MMEP se apresentam como uma boa alternativa no monitoramento de estações de tratamento de esgoto.

Palavras-chave: Média Móvel Exponencialmente Ponderada; tratamento de esgoto; controle de processo.

ABSTRACT

This work was intended to assess the performance of a sewage treatment plant through letters of statistical quality control of exponentially weighted moving average. The sewage treatment plant is located in the municipality studied of Cascavel, Paraná, the parameters measured were the hydrogenionic potential (pH), settleable solids (SetS), total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD). The EWMA letters accused that sewage treatment station has good statistical performance for the pH, total suspended solids, COD and BOD and failures for settleable solids. The EWMA control letters are presented as a good alternative in monitoring of sewage treatment plants.

Keywords: Exponentially Weighted Moving Average; sewage treatment; process control.

INTRODUÇÃO

Os serviços de saneamento como a coleta e tratamento de esgoto tornam-se importantes para a garantia da qualidade de vida de uma população. Todavia, se as redes e estações de tratamento de esgoto não forem bem projetadas e/ou operadas, causam impactos nos recursos hídricos. 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 ambiental e sanitária, 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).

Trabalho realizado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) - Cascavel (PR), Brasil.

¹Mestre em Saneamento e Recursos Hídricos pela UNIOESTE. Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Medianeira (PR), Brasil.

²Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP). Docente da UNIOESTE - Toledo (PR), Brasil.

³Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Docente da UTFPR - Medianeira (PR), Brasil.

Endereço para correspondência: Fábio Orssatto - Avenida Brasil, 4232 - Parque Independência - 85884-000 - Medianeira (PR), Brasil - E-mail: orssatto@utfpr.edu.br

Recebido: 13/06/13 - **Aceito:** 11/09/15 - **Reg. ABES:** 93742

No Brasil, apesar de estudos e avaliações em escala piloto ou em estações de tratamento de esgotos (ETEs) individuais, o conhecimento sobre o desempenho das tecnologias de tratamento de esgotos em operação no País é relativamente esparso (OLIVEIRA & SPERLING, 2005a), sendo que, geralmente, essas estações são projetadas para remover sólidos sedimentáveis e matéria orgânica carbonácea (LAMEGO NETO & COSTA, 2011).

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. Corbett e Pan (2002) utilizaram essas técnicas para avaliar o desempenho ambiental visando à implantação de sistemas de gestão ambiental utilizando como banco de dados emissões de nitrato. Os mesmos autores apontam que as técnicas de controle estatístico de qualidade podem ser aplicadas em vários trabalhos para a avaliação de desempenho ambiental, porém, precisa de estudos para a escolha apropriada do gráfico a ser utilizado.

Essas técnicas geram gráficos e índices de fácil interpretação os quais mostram se os processos de tratamento de esgoto estão sendo eficientes ou se há grandes variações em seu funcionamento e operação, indicando problemas para atingir a remoção necessária e cumprir a legislação pertinente.

Algumas técnicas de controle estatístico podem ser citadas: os índices de capacidade do processo, os gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais, gráficos de controle da média móvel, gráficos de controle da soma acumulada (CUSUM), gráficos de controle de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP), gráficos de atributos entre outras.

Os índices de capacidade do processo são utilizados quando há a necessidade de medir a competência do processo em atender especificações de um produto (MONTGOMERY, 2004). Sendo assim, para calcular o índice de capacidade do processo, compara-se a variação do processo com os limites de especificação, seja o limite superior e/ou inferior.

As cartas de controle, de uma maneira geral, utilizam como dados de entrada medições de variáveis que influenciam na qualidade dos itens

manufaturados. As medições são realizadas em pontos espaçados no tempo e registradas nas cartas. O registro resulta em gráficos temporais que apresentam os valores de medição da variável no eixo vertical e os pontos no tempo nas quais as medições são efetuadas no eixo horizontal. A cada medição compara-se o resultado obtido com limites de controle: medições fora dos limites indicam a presença de causas especiais de variabilidade, anômalas ao processo, que prejudicam a qualidade do produto manufaturado (MICHEL & FOGLIATTO, 2002). As causas especiais de variabilidade são facilmente observadas pelas cartas de controle, que emitem sinais quando os dados observados parecem estar, de algum modo, fora de controle. Tais sinais são baseados em algum deslocamento no meio do processo (CHEN & CHENG, 2009).

Nessa pesquisa, utilizou-se o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada. A carta média móvel exponencialmente ponderada (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).

Dessa maneira, este trabalho teve 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 estudada 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 diagrama de fluxo dos processos de tratamento utilizado na estação pode ser observado na Figura 1. Essa estação atende a uma população de aproximadamente 45.000 habitantes, com vazão média de 80 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

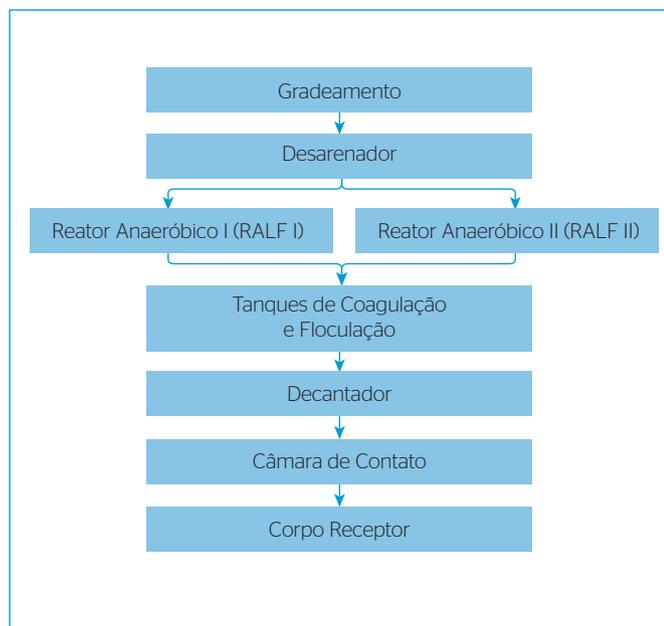


Figura 1 - Fluxograma dos processos de tratamento da estação de tratamento de esgoto Oeste.

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 do período que compreende do mês de janeiro de 2006 a janeiro de 2009 totalizando 33 amostras.

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

Para todas as variáveis estudadas, foi aplicada estatística descritiva através do registro das médias, 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 ponderada (MMEP).

Para a aplicação de técnicas de controle estatístico de processos, necessita-se que os dados sejam distribuídos normalmente. Os testes de normalidade aplicados a este trabalho foram os de Anderson-Darling e Ryan-Joiner (similar ao Shapiro-Wilk) 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).

Esses gráficos constituem-se basicamente em limite superior de controle (LSC), limite inferior de controle (LIC) e a média, o qual é a linha central.

Segundo Montgomery (2004), o gráfico da média móvel exponencialmente ponderada pode ser definido pela Equação 1:

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (1)$$

Em que: z_i são os valores plotados no gráfico, λ é uma constante que varia entre 0 e 1 (adotado 0,2), x_i são os valores reais encontrados no processo e o valor inicial (exigido com a primeira amostra em $i=1$) é o alvo do processo, de modo que $z_0 = \mu_0$. Algumas vezes, a média de dados preliminares é usada como o valor inicial do MMEP, de modo que $z_0 = \bar{x}$.

Conforme o mesmo autor, o gráfico de controle MMEP pode ser considerado como uma média ponderada de todas as observações passadas e correntes, sendo insensível à hipótese de normalidade, pois torna-se ideal para ser usado com observações individuais. Constrói-se esta carta pela plotagem de z_i versus o número da amostra i (ou tempo). Enquanto a linha central e os limites de controle são definidos pelas Equações 2 a 4:

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)}} [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \quad (2)$$

$$\text{Linha central} = \mu_0 \quad (3)$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)}} [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \quad (4)$$

Em que: o fator L é a largura dos limites de controle; λ é uma constante que varia de 0 a 1 e σ é o desvio padrão. Em geral, Montgomery (2004) cita que valores de λ no intervalo de 0,05 e 0,25 funcionam bem na prática e que o valor de $L = 3$ funciona razoavelmente bem. Dessa maneira o valor λ utilizado foi igual a 0,2 e o valor de L igual a 2 para que o gráfico detecta-se menores mudanças no processo.

Para que os gráficos ou cartas MMEP sejam úteis, há a necessidade de uma correta interpretação dos mesmos. Quando os dados obtidos do processo ultrapassam esses limites, significa que o processo está fora de controle estatístico, acusando a existência de problemas. Na prática, demonstra que a estação de tratamento de esgoto apresenta ou apresentou algum problema que pode estar relacionado com as condições ambientais (temperatura ambiente), falhas na operação ou até influência da rede coletora de esgoto (despejo indesejado, infiltração, aumento de vazão entre outros).

Tanto a estatística descritiva quanto os gráficos MMEP foram gerados no *software* Minitab 16®.

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% e, dessa maneira, há baixa variabilidade nos dados (GOMES, 1987). Ao observar o p-valor do teste de normalidade, admite-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 430/11 (BRASIL, 2011). Silva, Aquino e Santos (2007) encontraram 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). Dentre as possíveis causas para a alta variabilidade nos dados, acredita-se que uma justificativa plausível seria o arraste de sólidos do decantador do tratamento físico-químico nos horários de pico de vazão. Ao se observar o valor p do teste de normalidade, admite-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. Apesar da falta de normalidade nos dados dos sólidos sedimentáveis, Montgomery (2004) cita que a carta MMEP é um procedimento não-paramétrico, ou seja, livre de distribuição. Em relação aos sólidos sedimentáveis, apenas 3 % das amostras ficaram acima do limite máximo permitido para o lançamento de esgoto sanitário estabelecido pela resolução CONAMA 430/11.

Para os sólidos suspensos totais, os valores variaram de 8 a 144 mg.L⁻¹. Observa-se assim um elevado coeficiente de variação, consequentemente uma alta variabilidade nos dados. Ao se observar o valor p do teste de normalidade, admite-se que a hipótese dos dados serem normais não é rejeitada, considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados 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. Essa alta variabilidade também pode ser justificada pela má operação do sistema físico-químico, uma vez que se a dosagem do coagulante não seja feita de forma correta, o ponto isoelétrico (estabilização de cargas) não é alcançado, dessa maneira não desestabiliza os colóides (PIVELI & KATO, 2005) e o sistema pode formar flocos com peso insuficiente para que sedimentem. Assim, ao se compararem os dados com o padrão de lançamento máximo permitido, observa-se que 30% amostras ultrapassaram o limite permitido pela licença ambiental da estação. Silva, Aquino e Santos (2007), ao utilizarem cloreto férrico no pós-tratamento de efluente de um reator Upflow anaerobic sludge blanket (UASB), encontraram um valor mínimo para sólidos suspensos totais igual a 4,8 mg.L⁻¹.

Para a variável DQO, os valores variaram de 60 a 263 mg.L⁻¹. O coeficiente de variação ficou acima de 30% e apresentou alta variabilidade dos dados. Segundo Weber, Cybis e Beal (2010), essa variação significativa é característica de processos instáveis. Ao se observar o p-valor do teste de normalidade, admite-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.

Para a DBO, os valores variaram de 26,4 a 131,5 mg.L⁻¹. Em relação ao coeficiente de variação, tem-se uma alta variabilidade por esse encontrar-se acima de 20% (GOMES, 1987). Ao se observar o valor p do teste de normalidade, admite-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. Ao se compararem os dados com o padrão de lançamento máximo permitido, observa-se que 30,3% amostras ultrapassaram o limite permitido pela licença ambiental da estação.

Aisse, Jürgensen e Sobrinho (2001) encontraram valores que variaram de 4 a 28 mg.L⁻¹ para DBO_{5,20}, valores inferiores aos do presente trabalho.

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

Variável	Media	Desvio padrão	C.V. (%) ¹	Mínimo	Máximo	Valor p 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
SST (mg.L ⁻¹)	49,73	31,03	62,40	8,00	144,00	0,059	Não
DQO (mg.O ₂ L ⁻¹)	130,28	48,61	37,31	60,00	263,00	0,102	Não
DBO (mg.O ₂ L ⁻¹)	53,53	23,69	44,26	26,40	131,50	<0,005	Não

Ssed: sólidos sedimentáveis; SST: sólidos suspensos totais; DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio.
¹Coeficiente de variação em porcentagem. ²valor p do teste de normalidade. ³Autocorrelação temporal e dependência dos dados.

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

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.

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 reatores anaeróbios e decantadores do tratamento físico-químico da estação de tratamento.

A vazão do esgoto que adentra a estação de tratamento de esgoto está sujeita às mesmas variações relativas ao consumo de água. Segundo SPERLING (2005), o consumo de água e a geração de esgotos em uma localidade variam ao longo do dia (variações horárias), ao longo da semana (variações diárias) e ao longo do ano (variações diárias). Segundo o mesmo autor, ocorrem dois picos principais de aumento de vazão: no início da manhã (mais pronunciado) e no início da noite (mais distribuído).

Nesse contexto, o histórico de vazões e dosagem de coagulante da estação objeto de estudo deste trabalho seriam de fundamental importância para estabelecer as causas das falhas identificadas no gráfico da Figura 3. Sendo assim, o não registro destes dados por parte da companhia de saneamento constitui uma oportunidade de melhoria na operação e monitoramento da estação.

Na Figura 4 está o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos suspensos totais.

Observa-se, que o processo está em controle estatístico, pois as variações não foram suficientes para que os limites de controle fossem extrapolados, porém, a partir do ponto 24, como ocorre na variável sólidos sedimentáveis, o gráfico detecta uma mudança de comportamento, indicando que a estação passou a apresentar problemas para a remoção de sólidos a partir da vigésima quarta coleta.

Na Figura 5 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.

Na Figura 6 está o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável DBO.

A partir do gráfico, observa-se que o processo está sob de controle estatístico, pois não existem pontos fora dos limites de controle estatístico,

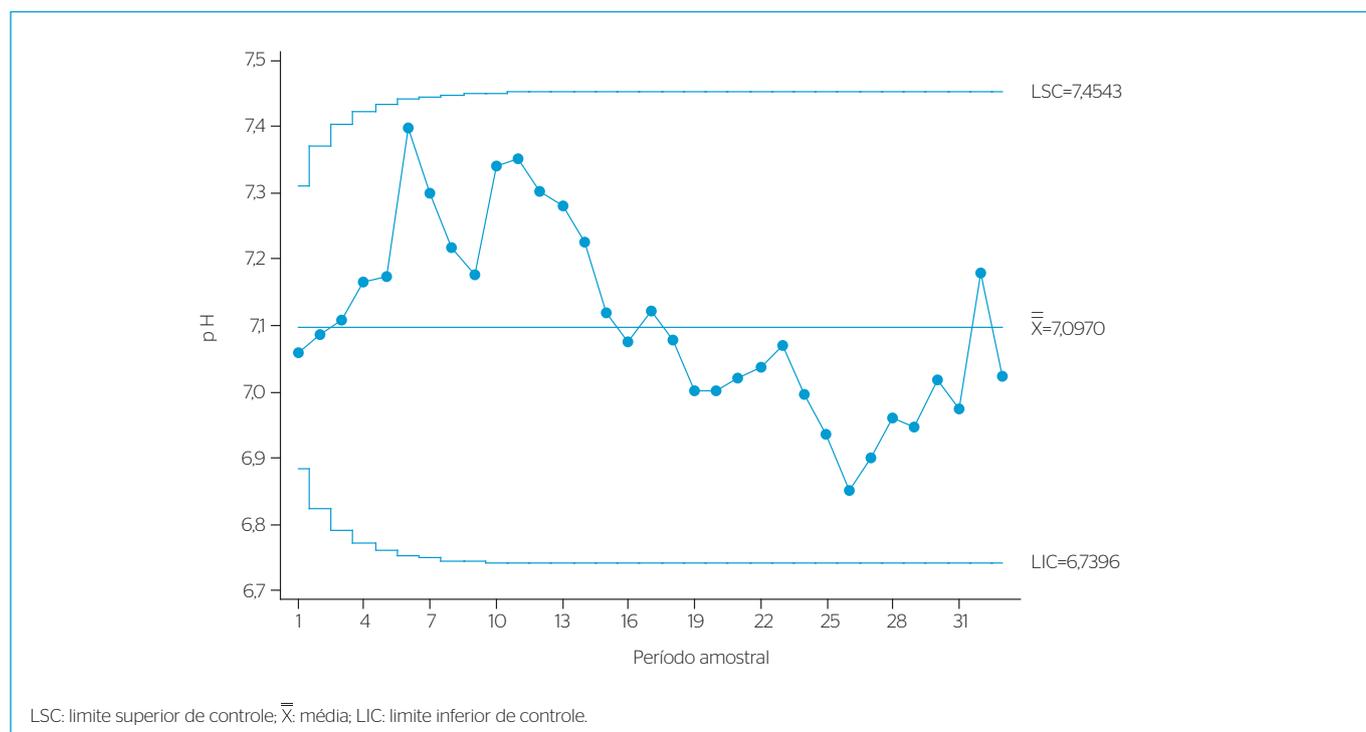


Figura 2 - Gráfico média móvel exponencialmente ponderada para o pH no esgoto tratado.

dando a mesma resposta que a variável DQO, o que demonstra coerência entre os dados, pois esses parâmetros são indicadores de matéria orgânica.

Entretanto, tanto o gráfico da DQO, quanto da DBO, acusam alterações a partir da coleta 16, onde há uma ocorrência maior de valores acima da linha média do gráfico, mostrando que a estação mudou seu comportamento em termos de remoção de matéria orgânica.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que, as cartas MMEP acusaram que estação de tratamento de esgoto apresentou bom desempenho estatístico para o pH, sólidos suspensos totais, DQO e DBO e falhas para os sólidos sedimentáveis; porém, é possível observar algumas mudanças no comportamento da estação, principalmente

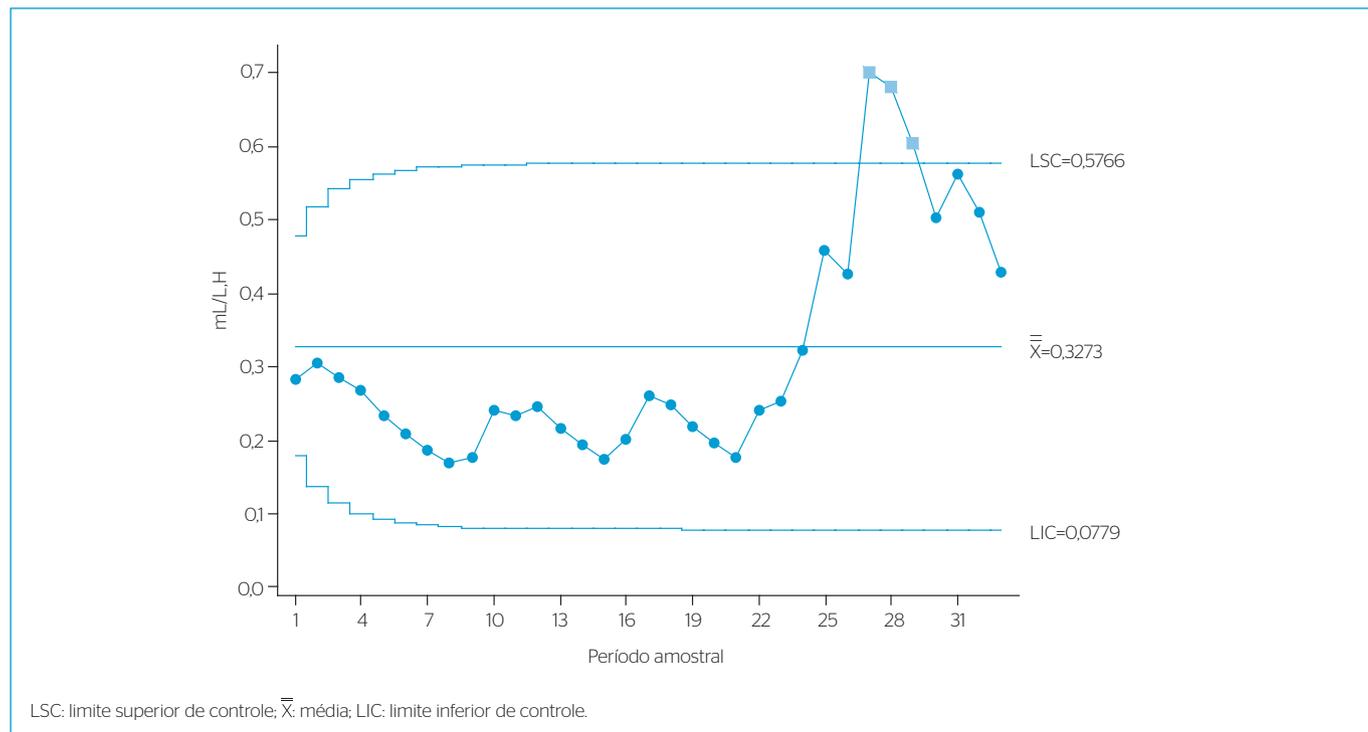


Figura 3 - Gráfico média móvel exponencialmente ponderada para os sólidos sedimentáveis no esgoto tratado.

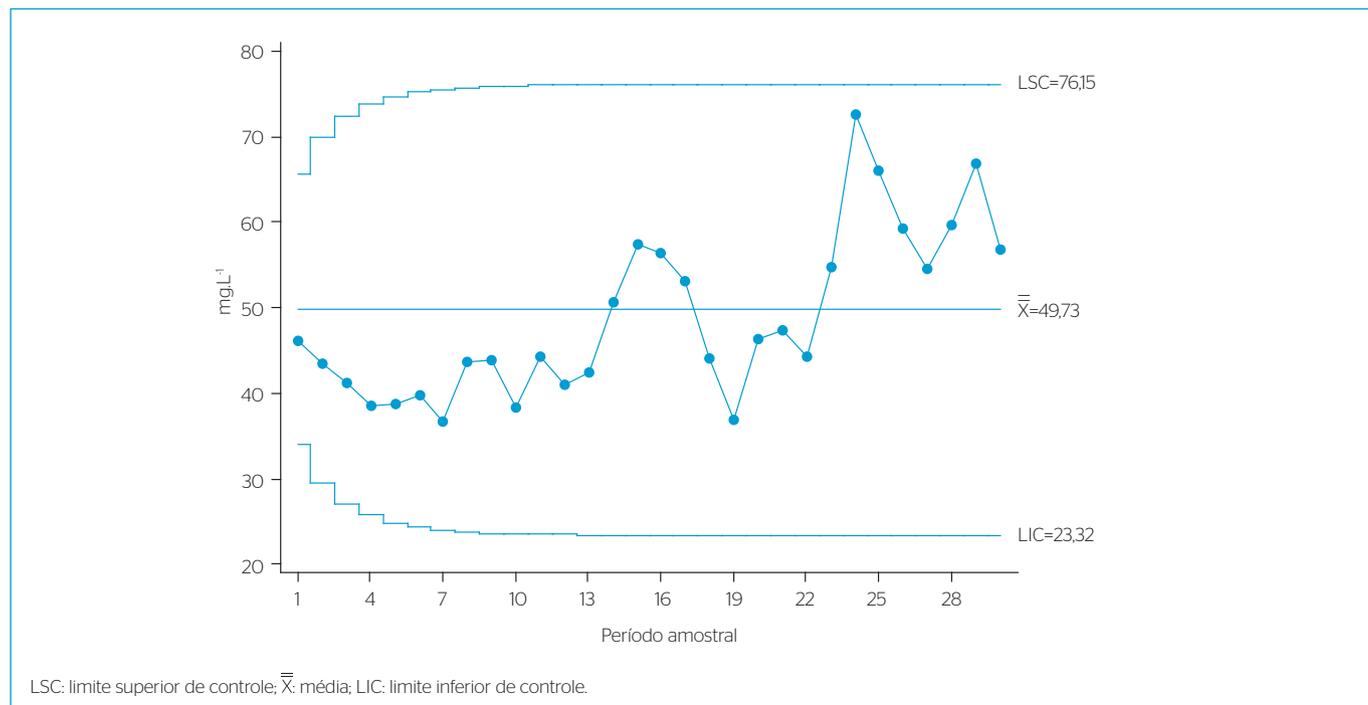


Figura 4 - Gráfico média móvel exponencialmente ponderada para os sólidos suspensos totais no esgoto tratado.

no que se refere a DQO e DBO, indicando uma diminuição de eficiência da estação.

O processo utilizado na ETE não é capaz de reter sólidos com eficiência em todo o momento de sua operação, dessa maneira observa-se que a estação não apresentou bom desempenho, considerando que o parâmetro sólidos sedimentáveis possui padrão de lançamento em

corpos hídricos, conforme a resolução CONAMA 430/11 e também é essencial na verificação da operação dos reatores anaeróbios e nos decantadores do tratamento físico-químico.

As cartas de controle MMEP se apresentam como uma boa alternativa no monitoramento de estações de tratamento de esgoto, pois dão respostas facilmente observáveis indicando mudanças e falhas

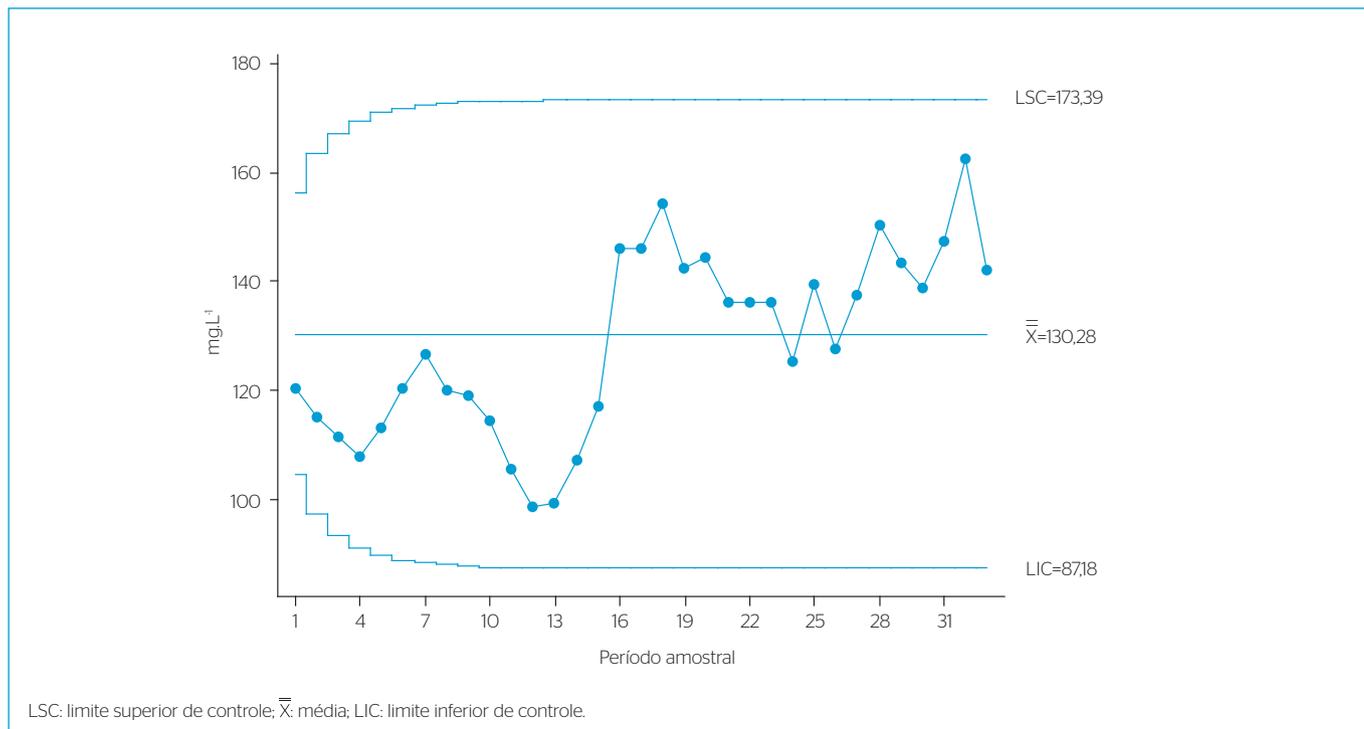


Figura 5 - Gráfico média móvel exponencialmente ponderada para a demanda química de oxigênio no esgoto tratado.

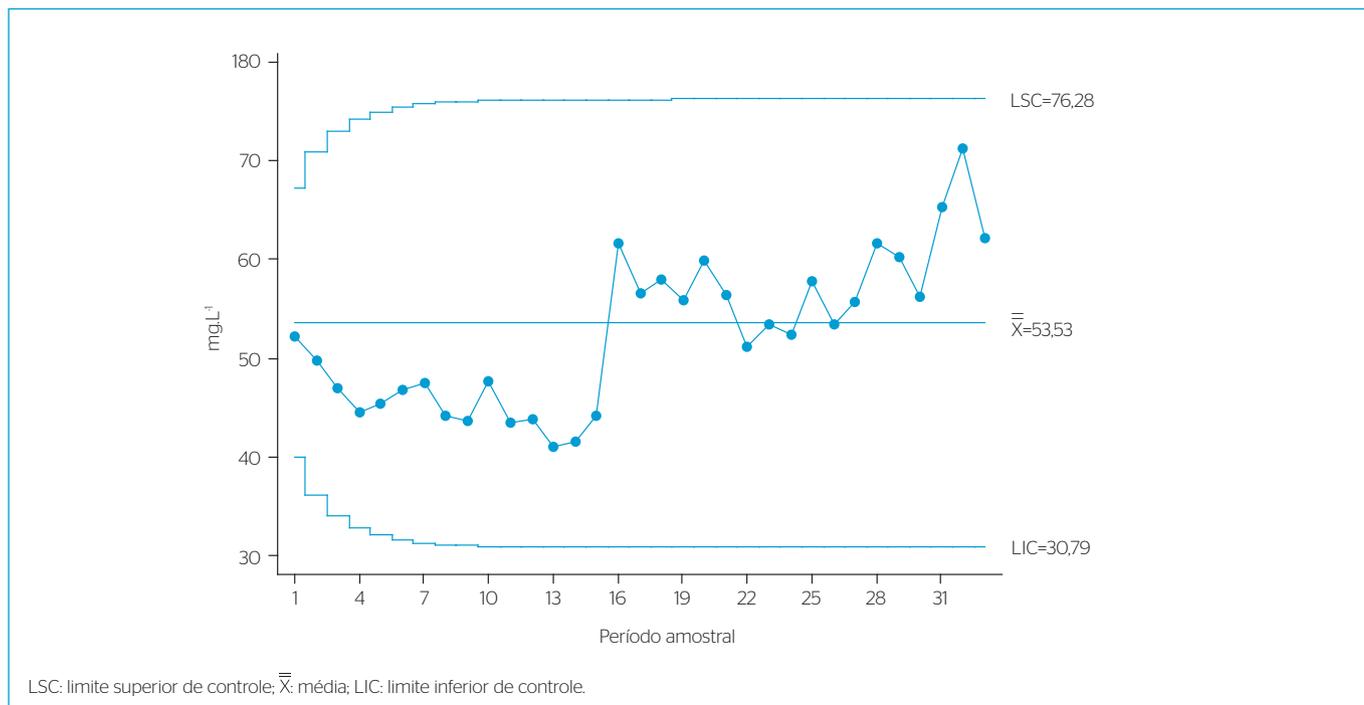


Figura 6 - Gráfico média móvel exponencialmente ponderada para a demanda bioquímica de oxigênio no esgoto tratado.

no processo. Essa ferramenta pode auxiliar a gestão da estação na identificação da relação causa/efeito, no sentido de ao serem detectadas falhas por intermédio das cartas, outros dados de monitoramento da ETE, como o histórico de vazões, dosagem de produtos

químicos, eventos esporádicos como descarga de lodo dos reatores anaeróbios entre outros, possam embasar as ações corretivas e preventivas, visando assegurar uma maior estabilidade do processo de tratamento.

REFERÊNCIAS

- AISSE, M.M.; JÜRGENSEN, D.; SOBRINHO, P.A. (2001) Avaliação do sistema reator RALF e flotação por ar dissolvido, no tratamento de esgoto sanitário. In: CHERNICHARO, C.A.L.(Coordenador) *Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios - coletânea de trabalhos técnicos*. Segrac, Belo Horizonte, v. 2, p. 219-229.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. *Standard methods for the Examination of Water and Wastewater*. (1998) 20 ed. Washington, EUA. American Public Health Association, 1325 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005) *Resolução nº 357 de 18 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acessado em: 10 jun 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2011) *Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011*. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> Acessado em: 09 jun 2012.
- CATTONY, E.B.M.; RIBEIRO, R.; ZAIAT, M.; FORESTI, E.; VARESCHE, M.B.A. (2007) Remoção de etanol e benzeno em reator anaeróbio horizontal de leito fixo na presença de sulfato. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n.2, p. 181-191.
- CHEN, H. & CHENG, Y. (2009) Designing \bar{X} charts for know autocorrelations and unknown marginal distribution. *European Journal of Operational Research*, v. 198, n. 1, p. 520-529.
- CORBETT, C.J. & PAN, J.N. (2002) Evaluating environmental performance using statistical process control techniques. *European Journal of Operational Research*, v. 139, n. 1, p. 68-83.
- GOMES, F.P. (1987) *A estatística moderna na agropecuária*. Piracicaba: Ed. Potafos, 162p.
- PIVELI, R.P. & KATO, M.T. (2005) *Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico-químicos*, 1 ed. São Paulo: Ed. ABES, p. 285.
- MARAVELAKIS, P.E. & CASTAGLIOLA, P. (2009) An EWMA chart for monitoring the process standard deviation when parameters are estimated. *Computational Statistic and Data Analysis*, v. 53, p. 2653-2664.
- MICHEL, R. & FOGLIATTO, F.S. (2002) Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos. *Gestão & Produção*, v. 9, n. 1, p. 17-31.
- MONTGOMERY, D.C. (2004) *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. Tradução: Farias, A.M.L., Flores, V.R.L.F., Laurencel, L.C. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 514p.
- LAMEGO NETO, L.G. & COSTA, R.H.R. (2011) Tratamento de esgoto sanitário em reator híbrido em bateladas sequenciais: eficiência e estabilidade na remoção de matéria orgânica e nutrientes (N, P). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 411-420.
- OLIVEIRA, S.M.A.C. & SPERLING, M.V. (2005a) 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.
- OLIVEIRA, S.M.A.C. & SPERLING, M.V. (2005b) 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.
- ORSSATTO, F. (2008) 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*, v. 6, supl. 1, p. 27-28.
- SANTOS, H.R. (2006) *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*. 331p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SPERLING, M.V. (2005) *Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 452 p.
- SILVA, M.E.R.; AQUINO, M.D.; SANTOS, A.B. (2007) Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. *Revista Tecnologia*, v. 28, n. 2, p. 178-190.
- WEBER, C.C.; CYBIS, L.F.; BEAL, L.L. (2010) Reúso da água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, n. 2, p. 119-128.