

II-376 - ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM JUAZEIRO DO NORTE - CE

Marcos Erick Rodrigues da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutor em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Germário Marcos de Araújo

Tecnólogo em Saneamento ambiental (CENTEC Cariri). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Doutorando em Saneamento Ambiental na UFC. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Sobral.

André Bezerra dos Santos

Doutor em Saneamento Ambiental pela Wageningen University - Holanda. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, Bloco 713 - Pici - Fortaleza - CE - CEP: 60455-900 - Brasil - Tel: (85) 3366-9628 - e-mail: marcoserick@ifce.edu.br

RESUMO

A utilização de indicadores de auxilium na avaliação do desempenho de estações de tratamento de esgotos constitui um incentivo e um instrumento de apoio ao monitoramento da eficiência e da eficácia das entidades gestoras. O objetivo desse trabalho foi analisar a confiabilidade da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) situada em Juazeiro do Norte – CE quanto aos padrões estabelecidos pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE). A ETE em estudo é composta por um sistema de Lagoas de estabilização constituído por lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa e de lagoa de maturação. No estudo da confiabilidade da ETE foi empregada a metodologia de análise de dados baseada em estudos de Niku *et al.* (1979) e utilizada por Oliveira (2006). Em geral, foi observado ETE apresentou baixos coeficientes de confiabilidade (CDC) para os parâmetros DBO e DQO, fruto da elevada variação na qualidade do efluente em relação a esses parâmetros. Tendo em vista que a ETE é composta por lagoa anaeróbia, facultativa e de maturação, o percentual de atendimento esperado para DBO e DQO foi baixo, alertando os operadores quanto à necessidade de identificação de problemas relacionados à sua operação e manutenção. Quanto aos outros parâmetros analisados (sólidos sedimentáveis e coliformes fecais) os percentuais esperados de atendimento foram satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Confiabilidade, lagoas de estabilização, análise de eficiência.

INTRODUÇÃO

No Brasil, assim como em grande parte dos países em desenvolvimento, a quantidade de estações de tratamento de esgotos (ETE) é insuficiente para o volume de esgoto doméstico gerado, levando muitas vezes ao lançamento irregular em corpos receptores. Além disso, muitas estações existentes possuem diversos problemas de controle operacional, os quais prejudicam o tratamento dos esgotos sanitários a serem descartados e, conseqüentemente, geram um grande risco de poluição dos recursos hídricos receptores, podendo torná-los impróprios para diversos usos, provocando a formação de odores desagradáveis, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido, elevando ou reduzindo o pH, alterando a cor natural, levando à acumulação de sólidos em seu leito, enfim modificando profundamente as características físicas, químicas e conseqüentemente biológicas originais desses ecossistemas.

A necessidade de tratamentos mais eficientes e confiáveis de efluentes sanitários baseados na qualidade requerida do mesmo para um descarte nos corpos d'água obedecendo aos padrões estabelecidos pela legislação vigente vem crescendo em importância nas últimas décadas tanto por força de legislação quanto por imposições exercidas por organizações ambientais.

O bom funcionamento de sistemas de tratamento de esgotos urbanos constitui uma exigência ambiental, social e legal, sendo um desafio permanente para as entidades gestoras dos sistemas a procura do melhor nível de funcionamento e de gestão das infra-estruturas. Os órgãos gestores carecem de indicadores de desempenho

ambiental que traduzam de forma objetiva o bom nível de funcionamento alcançado pelas ETEs ou até mesmo a comparação desse nível de desempenho com as diferentes modalidades de tratamento.

Além do exposto, ressalta-se que o simples atendimento ao padrão de lançamento não é suficiente para uma análise positiva sobre a eficiência de uma ETE, uma vez que mesmo quando os valores médios dos dados observados numa ETE atendem aos padrões estipulados pela legislação, essa estação pode estar operando fora desses limites em grande parte do tempo. Em contrapartida, uma ETE que apresente valores médios em discordância com o padrão de lançamento pode atender à legislação em tempo considerável.

Desta forma, uma ETE bem projetada deve manter um padrão estável de eficiência no decorrer do tempo. Comumente isso não ocorre devido a alterações funcionais como falhas operacionais, alterações climáticas significantes, variação brusca da qualidade do esgoto bruto, dentre outros.

Assim, para produzir um efluente de boa qualidade e garantir o alcance aos padrões de lançamento, projetistas e operadores devem estar aptos para estimar a qualidade esperada do efluente e suas variações, para um dado processo de tratamento. As incertezas e suas influências no desempenho dos processos podem ser analisadas por meio de métodos de probabilidade. Uma abordagem probabilística para projetos pode ser usada para fornecer uma base consistente para a análise da incerteza e uma base teórica para a análise de desempenho e confiabilidade.

A confiabilidade de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) pode ser entendida como a porcentagem de tempo em que se conseguem as concentrações esperadas no efluente para cumprir com os padrões de lançamento ou metas de tratamento especificadas. Assim, uma ETE será completamente confiável se não houver falha no desempenho, ou seja, não houver violação dos limites preconizados pelas metas ou legislações ambientais. A falha do processo de tratamento ocorrerá sempre que o padrão de lançamento for excedido.

Análises de eficiência e confiabilidade em ETEs brasileiras vêm ganhando especial atenção a partir do trabalho desenvolvido por Oliveira (2006). Entretanto, os dados analisados foram de ETEs localizadas no Sul e Sudeste do Brasil, sendo sabido que aspectos climáticos, tecnologias de tratamento, projeto e operação das ETEs influenciam sobremaneira nos valores de eficiência e confiabilidade.

Assim, o objetivo desse trabalho foi analisar a confiabilidade da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) situada Juazeiro do Norte – CE quanto aos padrões estabelecidos pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE).

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

A estação de tratamento de esgotos denominada ETE – MALVAS está localizada no bairro Malvas em Juazeiro do Norte - CE e tem como responsável pela operação e manutenção a Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. O sistema de esgotamento é composto por rede coletora, estações elevatórias, tratamento preliminar, lagoas de estabilização e disposição final do efluente no corpo d'água do Rio Salgado. O sistema de lagoas é composto por duas lagoas anaeróbias em paralelo (A), duas lagoas facultativas em paralelo (F), e uma lagoa de maturação (M). A Figura 1 traz uma vista da ETE – MALVAS.

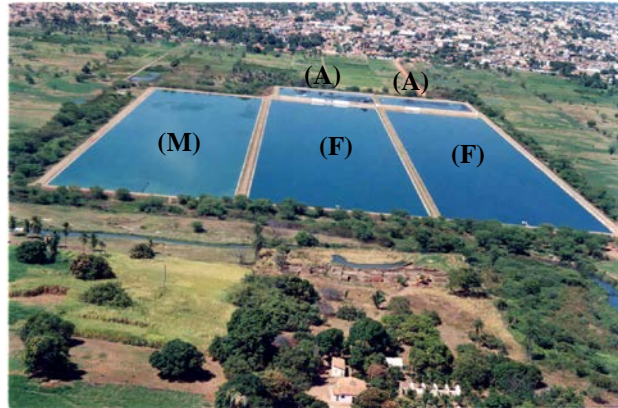


Figura 1: Vista aérea da ETE Malvas, Juazeiro do Norte – CE.

Os dados do efluente final eram coletados na lagoa de maturação, no período de janeiro de 2005 a setembro de 2007, por meio de monitoramento obtido através de projetos de pesquisas desenvolvidos pela Faculdade de Tecnologia CENTEC – FATEC Cariri. Foram analisados os seguintes parâmetros: pH; Condutividade; Elétrica; Sólidos Suspensos; DBO; DQO; Amônia; Sólidos Totais Dissolvidos e Coliformes Termotolerantes. Vale salientar que todas as análises foram realizadas de acordo com a *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

ELIMINAÇÃO DE INCONSISTÊNCIAS OU OUTLIERS

Foram removidos os valores extremos ou não usuais, mais conhecidos como *outliers*. Para isso, foi utilizado um teste que determina limites inferior e superior, a partir dos quais o valor é considerado *outlier* (LAPPONI, 2005). Esses limites são calculados utilizando o primeiro (Q_1) e o terceiro quartil (Q_3) da série de dados.

Foram calculados limites para cada parâmetro monitorado na ETE da seguinte forma:

- Limite inferior = $Q_1 - 3 \cdot (Q_3 - Q_1)$
- Limite superior = $Q_3 + 3 \cdot (Q_3 - Q_1)$

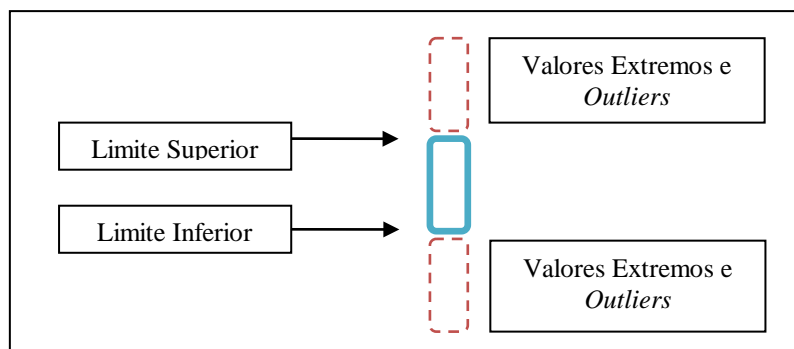


Figura 2: Identificação dos valores extremos e outliers em relação ao conjunto de dados.

Caso o valor observado fique abaixo do limite inferior ou acima do limite superior, ele é considerado um *outlier* e, desse modo, eliminado do conjunto de dados a ser analisado.

ADOÇÃO DE UM MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DOS DADOS

Diversos estudos sobre a distribuição de frequência de dados referentes ao monitoramento de ETE relatam que eles melhor se ajustam à distribuição lognormal (Oliveira, 2006).

Assim, adotou-se a distribuição lognormal por ser a mais representativa quando se trata de dados de ETE, permitindo o emprego da metodologia desenvolvida e descrita por Niku *et al.* (1979) e utilizada por Oliveira (2006).

CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE (CDC), DA CONCENTRAÇÃO DE PROJETO E DO PERCENTUAL ESPERADO DE ATENDIMENTO A METAS

O coeficiente de confiabilidade relaciona valores das concentrações efluentes médias ao padrão a ser alcançado, em uma base probabilística.

No cálculo do CDC utilizam-se as seguintes variáveis:

CV = Coeficiente de variação (desvio padrão dividido pela média dos dados)

$Z_{(1-\alpha)}$ = variável normal central reduzida correspondente à probabilidade de não excedência (1- α).

Após determinar os valores dos coeficientes de confiabilidade foi possível determinar as concentrações de projeto (m_x) que seriam necessárias para o alcance de vários padrões ou metas especificadas.

Outra etapa consistiu no cálculo do percentual esperado de atendimento a algumas metas de lançamento adotadas, partindo dos valores de concentração efluente e do CV dos dados da ETE em estudo. Para isso, utilizou-se a função DIST.NORMAP do Excel.

Tabela 1: Cálculo da concentração média efluente de lançamento para um determinado nível de confiabilidade e do percentual esperado de atendimento à metas de lançamento adotadas.

| | | | |
|-----------|--|---|---|
| Parâmetro | Concentrações efluentes esperadas para que (100- α)% dos resultados atendam à meta | Média das concentrações efluentes Desvio padrão das concentrações efluentes Concentração efluente especificada na legislação Coeficiente de variação (CV) Probabilidade de falha de alcançar o padrão Confiabilidade Variável normal padronizada Coeficiente de confiabilidade (CDC) | μ δ X_S $\frac{\delta}{\mu}$ μ α % (1 - α) % Obtida de tabela $Z_{(1-\alpha)}$ |
| | Percentual esperado de atingir os limites de descarte | m_x | $\frac{\sqrt{CV^2 + 1} \cdot \exp\{-Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\ln(CV^2 + 1)}\}}{CDC \cdot X_S}$ |
| | | Probabilidade cumulativa da distribuição normal padronizada ($Z_{1-\alpha}$) | $\frac{\ln(X_S) - [\ln(m_x) - 0,5 \cdot \ln(CV^2 + 1)]}{\sqrt{\ln(CV^2 + 1)}}$ |
| | | Percentual esperado de atendimento às metas de lançamento adotadas (1- α) % | $DIST.NORMP(Z_{1-\alpha}) \cdot 100$ |

Ressalta-se que as metas estabelecidas nesse trabalho foram as preconizadas na Portaria 154/2002 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE), referida a sistemas de tratamento por Lagoas de Estabilização. A Tabela 2 mostra alguns parâmetros abordados pela portaria.

Tabela 2: Padrões de lançamento de esgotos de acordo com a Portaria 154/02 da SEMACE.

| Parâmetro | Sistemas de lagoas de estabilização |
|---------------------------|-------------------------------------|
| pH | 7,5 - 10 |
| DQO (mgO ₂ /L) | 200 |
| DBO (mgO ₂ /L) | 60 |
| SSed (mg/L) | 1 |
| CTer (NMP/100 mL) | 5000 |

RESULTADOS

Foram calculados os coeficientes de confiabilidade (CDC), as concentrações médias efluentes para o nível de confiabilidade adotado (95%) e, finalmente, o percentual esperado de atendimento às metas da SEMACE, como mostrado nas tabelas seguintes.

Em relação à DQO (Tabela 3) verifica-se que o sistema de lagoas apresentou um valor médio de 163 mgO₂/L no seu efluente e um desvio padrão de 86 mgO₂/L. Assim, para a meta de 200 mgO₂/L, encontrou-se que a concentração de projeto para esse sistema seria de aproximadamente 100 mgO₂/L, e, que é esperado que ele atenda ao padrão de lançamento em 74,5% do tempo de operação.

Tabela 3: Cálculo do CDC, m_x e percentual esperado de atendimento às metas de descarte de esgoto para o parâmetro DQO.

| Parâmetro | Procedimento de cálculo | | ETE Malvas |
|---|--|--|--|
| DQO | Concentrações efluentes esperadas para que 95% dos resultados atendam à meta | Média das concentrações efluentes (μ) | 163 |
| | | Desvio padrão das concentrações efluentes (δ) | 86,2 |
| | | Concentração efluente especificada na legislação (X_s) | 200 |
| | | Coeficiente de variação (CV) | 0,53 |
| | | Probabilidade de falha de alcançar o padrão (α) % | 5 |
| | | Confiabilidade ($1 - \alpha$) % | 95 |
| | | Variável normal padronizada (tabelada) $Z_{(1-\alpha)}$ | 1,645 |
| | | Coeficiente de confiabilidade (CDC) | 0,500 |
| | | m_x | 99,96 |
| | | Percentual esperado de atingir os limites de descarte | Variável normal padronizada $Z_{(1-\alpha)}$ |
| Percentual esperado de atendimento às metas de lançamento adotadas ($1-\alpha$) % | 74,5 | | |

Atenta-se para o fato de que apesar da ETE registrar um valor médio inferior ao padrão de lançamento (200 mgO₂/L), os cálculos mostram que ela deveria ter sido projetada para alcançar uma concentração de 100 mgO₂/L, certamente, devido à grande variabilidade dos dados de DQO, ratificado pelo elevado valor do desvio padrão e coeficiente de variação encontrado para esse parâmetro.

Na Tabela 4, estão resumidos os cálculos de confiabilidade para os parâmetros: DQO, DBO, Sólidos Sedimentáveis e Coliformes termotolerantes. Em relação à DBO, verifica-se um percentual de atendimento de apenas 53%. Pode-se atribuir a esse baixo percentual, o fato da concentração média do efluente (62,9 mgO₂/L) ser superior à meta estabelecida pela Legislação Estadual (60 mgO₂/L), reduzindo, portanto, o percentual de atendimento.

Tabela 4: CDC, m_x e percentual esperado de atendimento às metas de alguns parâmetros monitorados na ETE Malvas.

| Parâmetro | μ | CV | CDC | m_x | Padrão | % esperado de atendimento |
|----------------------------|-----------------------|-------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| DQO | 163 ^a | 0,53 | 0,500 | 99,9^a | 200 ^a | 74,5 |
| DBO | 62,9 ^a | 0,41 | 0,568 | 34,1^a | 60 ^a | 53,0 |
| Sólidos Sed. | 0,034 ^b | 1,38 | 0,312 | 0,31^b | 1,00 ^b | 100 |
| Coliformes Termotolerantes | 1,61E+03 ^c | 8,88 | 0,286 | 1,43E+03^c | 5,00E+03 ^c | 96,83 |

a: mgO₂/L; b: mg/L; c: NMP/100 mL

Observa-se também que, tomando como referência os dados de DBO, a ETE teria que ter sido projetada ou operada para uma concentração efluente média igual a 34,08 mgO₂/L para garantir que 95% dos resultados alcançassem a meta de 60 mgO₂/L. Outra forma de interpretação é que a operação da ETE deverá conduzir ao valor médio de 34,08 mgO₂/L de DBO no efluente para que, com a variabilidade inerente à ETE, 95% dos dados estejam abaixo de 60 mgO₂/L.

Em contrapartida, observa-se que sólidos sedimentáveis e coliformes termotolerantes apresentaram percentuais de atendimento de 100% e 96%, respectivamente, mostrando não haver problemas de atendimento quanto a esses parâmetros de qualidade.

É importante deixar claro que o coeficiente de confiabilidade (CDC) depende apenas do coeficiente de variação (CV) dos dados, assim, os parâmetros que apresentarem menor variabilidade no monitoramento terão, portanto, maior CDC, ou seja, maior confiabilidade, como verificado na Tabela 4.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que a ETE Malvas apresentou baixos CDC para os parâmetros DBO e DQO fruto da elevada variação na qualidade do efluente em relação a esses parâmetros.

Tendo em vista que a ETE Malvas é composta por lagoa anaeróbia, facultativa e de maturação, o percentual de atendimento esperado para DBO e DQO foi baixo, alertando os operadores quanto à necessidade de identificação de problemas relacionados à sua operação e manutenção.

Quanto aos outros parâmetros analisados (sólidos sedimentáveis e coliformes fecais) os percentuais esperados de atendimento foram satisfatórios.

Finalmente, a análise de confiabilidade de sistemas de tratamento de esgotos mostra-se uma importante ferramenta no conhecimento sobre o desempenho das tecnologias de tratamento de esgotos em operação, assim como, auxilia na elaboração de novos projetos de ETES.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) pela disponibilização dos dados de monitoramento que possibilitaram a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CEARÁ, Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Portaria 154 de 22 de julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para o lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Publicada no Diário Oficial do Estado em 1 de outubro de 2002.
2. LAPPONI, J.C. *Estatística usando Excel*. Rio de Janeiro: Elsevier, 1ª Ed., 2005. 476p.
3. NIKU, S.; SCHROEDER, E.D.; SAMANIEGO F.J. Performance of activated sludge process and reliability-based design. *Journal Water Pollution Control Association*, v. 51, nº. 12, p. 2841-2857, 1979.
4. OLIVEIRA, S. M. A. C. Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 232 p., 2006.