



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

CORRELAÇÃO ENTRE DQO E DBO₅ E MONITORAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO ATRAVÉS DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DE CONTROLE DE PROCESSOS

Fabio Orssatto¹, Eliane Hermes¹, Marcio Antonio Vilas Boas²

RESUMO

Este estudo teve por objetivo determinar a correlação entre DQO e DBO₅ e avaliar o desempenho de uma estação de tratamento de esgoto por meio de técnicas de controle estatístico de processo considerando os parâmetros de DQO e DBO₅. Para a correlação foram utilizados os valores de entrada e saída de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) no município de Cascavel-Paraná, entre os meses de janeiro de 2005 a junho de 2006 e para a aplicação do controle estatístico de processo foram utilizados apenas os valores do ponto anterior ao lançamento no curso d'água, num período de janeiro de 2006 a janeiro de 2009 com periodicidade mensal. Para o esgoto bruto (afluente), a equação de regressão linear apresentou r igual a 0,987 o qual indica que a DBO₅ pode ser substituída pelo parâmetro DQO. Já para o efluente, a equação de regressão linear apresentou r igual a 0,76, o que também pode ser considerado elevado. A estação de tratamento mostrou não ser capaz de atender sempre a legislação tanto para o parâmetro de DQO quanto de DBO₅, pois os índices de capacidade de processo mostraram-se baixos.

Palavras-chave: efluente, regressão linear, índice de capacidade de processo.

CORRELATION BETWEEN COD AND BOD₅ AND TRACKING OF A SEWAGE TREATMENT STATION THROUGH STATISTICAL TECHNIQUES FOR PROCESSES CONTROL

ABSTRACT

This study had the objective to determine the correlation between COD and BOD₅ and evaluate the performance of a sewage treatment station by means of techniques of statistical process control considering the parameters of COD and BOD₅. For the correlation were used the values for entry and exit from a sewage treatment station (STS) in the city of Cascavel-Paraná, between the months of January of 2005 to June of 2006 and for the application of statistical process control were use only the values from the point before the launch in the water course, in the period of January of 2006 to January of 2009 with monthly frequency. For the raw sewage (influent), the linear regression equation showed r equal to 0,987 which indicate that the BOD₅ can be replaced by the parameter of COD. For the effluent, the linear regression equation showed r equals 0,76, which can be considered high. The treatment station showed not be able to answer always the legislation for both the parameter of COD and BOD₅, because the process capacity rates were low.

Keywords: effluent, linear regression, process capacity rates.

Trabalho recebido em 18/06/2009 e aceito para publicação em 18/11/2009.

¹ Tecnólogo Ambiental. Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Rua Universitária 2069, Jardim Universitário, CEP: 85814-110, Cascavel-PR. E-mail: fabio@orssatto.com

² Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Prof. Adjunto, RHESA/CCET, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel – PR.

1. INTRODUÇÃO

O lançamento contínuo de efluentes não tratados acarreta na estabilização da matéria orgânica, e com esta criam condições anaeróbias, eliminando assim a vida de microrganismos, peixes e vegetais, tornando este corpo receptor inadequado para a maioria das utilizações (JACHETTI, 2005).

Para a determinação de oxigênio necessário para a oxidação das impurezas contidas nos esgotos, criou-se o teste da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) sendo a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea. Sendo assim, um ótimo indicador indireto do carbono orgânico biodegradável. A demanda química de oxigênio (DQO) também é uma indicação indireta do teor de matéria orgânica

presente (VON SPERLING, 1996), porém, utiliza-se um agente oxidante químico forte ao invés de bactérias, como acontece na DBO₅.

A utilização dos resultados de DQO para a estimativa dos valores de DBO₅ além de reduzir os custos operacionais, diminui o tempo de tomada de decisões sobre medidas de correção operacional, bem como permite a definição de parâmetros de projeto que sejam condizentes com a realidade local. Descreve-se, também, a aplicação de metodologia para a avaliação do grau de correlação entre esses parâmetros, com objetivo de verificar sob quais hipóteses as análises de DQO podem substituir as de DBO₅ no monitoramento desses sistemas (SILVA & MENDONÇA, 2003). A Tabela 1 apresenta os valores típicos utilizados como referência para as relações entre os parâmetros de DQO e DBO₅.

Tabela 1. Valores típicos de DQO e DBO₅ em esgoto doméstico bruto.

Parâmetro	Característica dos esgotos (mg.L ⁻¹)		
	Forte	Médio	Fraco
DQO	1000	500	250
DBO ₅	400	220 a 300	130 a 200
r = DQO/DBO ₅	2,5	1,7 a 2,3	1,25 a 1,9

Fonte: Adaptado de JORDÃO & PESSOA (1995).

Observa-se que quanto maior a carga não biodegradável, maior a razão entre DQO e DBO₅ ($r = \text{DQO}/\text{DBO}_5$), indicando provavelmente contribuição de origem industrial para os maiores valores de r .

Já de acordo com Crites e Tchobanoglous (1998), valores típicos de r para esgotos sanitários não tratados estão na faixa entre 1,25 e 3,30, sendo que se superiores a 2,0, indicam nitidamente contribuição industrial. Se os valores foram superiores a 3,0, os despejos poderão conter componentes tóxicos, dificultando a aclimação de microrganismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica, prejudicando as condições operacionais do tratamento. Portanto, esse último número deve servir como limite máximo para o aceite de efluentes industriais em corpos hídricos, podendo ser utilizado inclusive como critério para o recebimento de cargas industriais.

Embora a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005) não faça referência ao parâmetro de DQO na classificação dos corpos d'água e nos padrões de lançamento de efluentes líquidos, algumas legislações ambientais estaduais estabelecem limites máximos para este parâmetro em seus padrões de lançamento (AQUINO et al., 2006). O Instituto Ambiental do Paraná (IAP) estipula uma concentração máxima

de lançamento de uma estação de tratamento de esgoto para a DQO igual a 150 mg.L⁻¹ O₂ e de DBO₅ de 60 mg.L⁻¹ O₂.

O controle estatístico de processo (CEP) pode ser usado para controlar as variabilidades de processos produtivos (SILVA et al., 2007). É uma metodologia que atua preventivamente sobre o processo produtivo, utilizando a estatística como instrumento básico para avaliar suas alterações, em busca do aperfeiçoamento contínuo da qualidade (SOUZA & RIGÃO, 2005).

Dentre as técnicas de controle de processo, as cartas de controle da média \bar{x} e a capacidade do processo se destacam. As cartas de controle utilizam como dados de entrada medições de variáveis que influenciam na qualidade dos itens manufaturados. Medições são realizadas em pontos espaçados no tempo e registradas nas cartas. Este registro resulta em gráficos temporais que apresentam os valores de medição da variável no eixo vertical, e os pontos no tempo nos 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, anomalias ao processo, que prejudicam a qualidade do produto manufaturado (MICHEL & FOGLIATTO, 2002).

Os índices de capacidade são usados para mencionar resultados de um processo relacionando-os com limites de especificação (Prasad & Calis, 1999). O presente trabalho tem por objetivo estudar a correlação entre os parâmetros de DQO e DBO₅ na entrada e saída da estação de tratamento de esgoto (ETE), além de monitorar através de técnicas estatísticas de controle de processo, o desempenho da estação considerando-se os dois parâmetros acima citados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A estação de tratamento de esgoto em questão localiza-se no município de Cascavel, Paraná, tendo 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 por grades de barras com limpeza manual, desarenador gravitacional de fluxo tangencial com retirada de areia retida por air-lift, medidor de vazão calha parshall, tratamento biológico anaeróbio através de dois reatores de fluxo ascendente e manta de lodo (RALF's) 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.

Essa estação deverá atender até 2010 uma população de aproximadamente 45.000 habitantes com uma vazão média de 80 L s⁻¹. Os reatores possuem um diâmetro superficial de 26 m, um diâmetro de fundo de 14 m e altura útil de 6 m. A estação também apresenta leitos de secagem para a remoção da umidade e redução do volume do lodo proveniente dos RALF's.

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 CONAMA 357 (Brasil, 2005) e apresenta características lóticis.

Os pontos de coleta para a determinação da correlação entre DQO e DBO₅ foram à entrada do efluente na estação (antes do gradeamento) e a saída da desinfecção (antes de atingir o corpo receptor), compreendendo um período de janeiro de 2005 a junho de 2006.

Para a determinação da correlação entre DQO e DBO₅ realizou-se uma regressão linear para obter a equação correspondente a relação entre os dois parâmetros além da aplicação do

coeficiente de correlação de Pearson citado por Crespo (2002) que classifica como forte uma correlação entre 0,6 e 1; fraca uma correlação entre 0,3 e 0,6 e muito fraca uma correlação entre 0,3 e 0,0.

Para a aplicação das técnicas estatísticas de controle de processo foram utilizados apenas dados do ponto anterior ao lançamento no curso d'água, num período de janeiro de 2006 a janeiro de 2009 com periodicidade mensal.

Os parâmetros monitorados foram a demanda química de oxigênio (DQO), uma forma indireta de medir a concentração de matéria orgânica (Von Sperling, 1996) e DBO₅, que foram determinados, utilizando-se a metodologia descrita pelo Standart Methods (APHA, 1998).

As técnicas estatísticas de controle de processo utilizadas foram os gráficos \bar{x} individual e o índice de capacidade de processo (Cp). Segundo Montgomery (2004), para a construção do gráfico \bar{x} individual deve-se calcular os limites de controle através das seguintes equações:

$$LSCX = \frac{\bar{x} + 3AM}{d_2} \quad (1)$$

$$LMCX = \bar{x} \quad (2)$$

$$LSCX = \frac{\bar{x} - 3AM}{d_2} \quad (3)$$

em que:

LSCX - limite superior de controle;

LMCX - linha média;

LICX - limite inferior de controle;

\bar{x} - média dos valores individuais;

AM - amplitude móvel de duas observações sucessivas para estimar a variabilidade do processo e;

d_2 - valor pré-determinado.

Aplicou-se o teste de Anderson-darling para a verificação da normalidade e transformação do tipo *box cox*. O limite superior de especificação utilizado foi de 150 mg. L⁻¹ O₂ para o parâmetro de DQO e 60 mg. L⁻¹ O₂ para o parâmetro de DBO₅ o qual é o padrão estipulado pelo IAP para lançamento de esgoto sanitário tratado. Para o índice de capacidade do processo utilizou-se a seguinte equação:

$$C_p = \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma} \quad (4)$$

em que:

Cp - capacidade do processo;

LSE - limite superior de especificação e;

σ - desvio padrão amostral

Montgomery (2004) cita que se o valor da capacidade do processo for maior ou igual a 1,33 o processo é capaz ou adequado segundo as especificações, se a capacidade do processo estiver entre 1 e 1,33 o processo é aceitável e se a capacidade do processo for menor do que 1 o processo é incapaz ou inadequado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 descreve a análise estatística da DQO e DBO₅ afluente e efluente.

Os valores para DQO e DBO₅ afluente são similares aos descritos na Tabela 1. Através da análise descritiva dos dados verifica-se que a DBO₅ afluente variou de 300 a 800 mg. L⁻¹ O₂ apresentando uma amplitude igual a 500

mg L⁻¹ O₂. A DQO afluente apresentou amplitude igual a 1537 mg L⁻¹ O₂. Já a DBO₅ efluente apresentou amplitude igual a 69 mg L⁻¹ O₂ e a DQO efluente apresentou amplitude igual a 136 mg L⁻¹ O₂. Tanto os valores do afluente quanto do efluente apresentaram elevado coeficiente de variação, com dados não homogêneos (CRESPO, 2002)

Tabela 2. Análise descritiva dos dados.

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
DBO₅ afluente	446,6	184,3	41,27	300	800
DQO afluente	1021	485	47,48	583	1940
DBO₅ efluente	39,67	15,42	38,86	24,30	93,30
DQO efluente	96,83	30,23	31,22	51	187

Os valores para DQO e DBO₅ afluente são similares aos descritos na Tabela 1. Através da análise descritiva dos dados verifica-se que a DBO₅ afluente variou de 300 a 800 mg. L⁻¹ O₂ apresentando uma amplitude igual a 500 mg L⁻¹ O₂. A DQO afluente apresentou amplitude igual a 1537 mg L⁻¹ O₂. Já a DBO₅ efluente apresentou amplitude igual a 69 mg L⁻¹ O₂ e a DQO efluente apresentou amplitude igual a 136 mg L⁻¹ O₂. Tanto os valores do afluente quanto do efluente apresentaram elevado coeficiente

de variação, com dados não homogêneos (CRESPO, 2002).

A eficiência de remoção da matéria orgânica após o afluente passar por uma sistema anaeróbio foi de aproximadamente 91%, sendo este valor superior a faixa entre 60 e 90% apresentada por Von Sperling (1996) considerando-se o mesmo sistema de tratamento.

A relação DQO/DBO₅ varia também à medida que o esgoto passa pelas diversas unidades da estação de tratamento. A tendência para a relação é de aumentar,

devido à redução da fração biodegradável, ao passo que a fração inerte permanece aproximadamente inalterada. Assim, o efluente final do tratamento biológico possui valores da relação DQO/DBO₅ usualmente superiores a 3,0 (Von Sperling, 1996). Como pode ser observado na Tabela 2, esta relação é inferior a 3, não

correspondendo com a literatura citada anteriormente podendo-se dizer que o efluente ainda é biodegradável.

A Figura 1 apresenta o gráfico da regressão linear correspondente aos dados de DQO e DBO₅ do esgoto afluente e a Figura 2 os dados de DQO e DBO₅ do esgoto efluente.

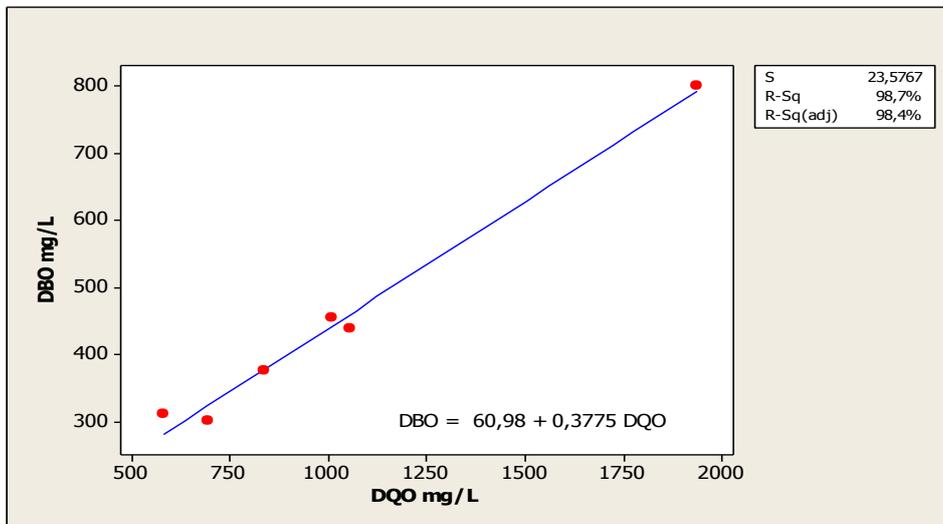


Figura 1. Regressão linear do esgoto afluente.

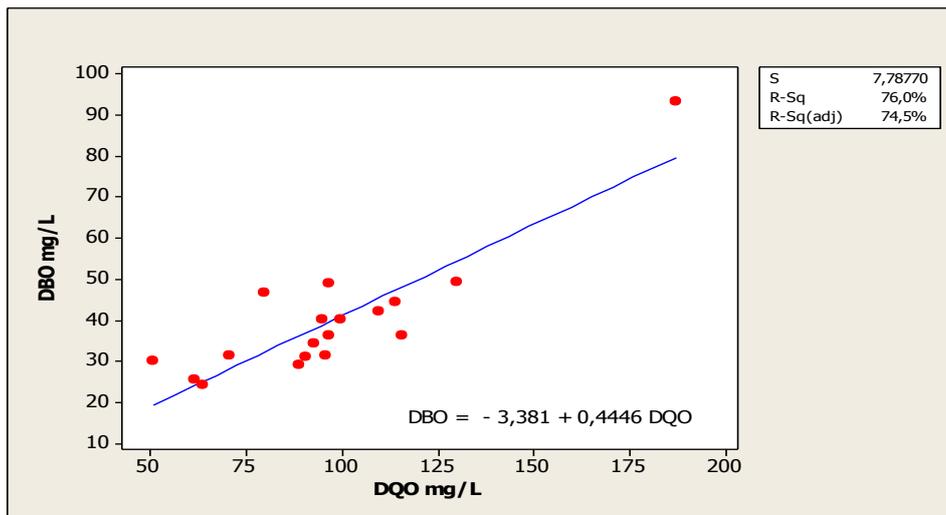


Figura 2. Regressão linear do esgoto efluente.

Para o esgoto bruto (afluente), a equação de regressão apresentou r igual a 0,987 o qual indica que a DBO₅ pode ser substituída pelo parâmetro DQO. Já para o efluente, a equação de regressão linear apresentou r igual a 0,76, o que também pode ser considerado elevado. A redução do valor de r, pode ser justificada pelo fato do esgoto sofrer um tratamento biológico, diminuindo assim a fração biodegradável o qual é representado pela DBO₅.

Aplicando o teste de correlação de Pearson, verifica-se que existe uma

interdependência forte entre os parâmetros DBO₅ e DQO, tanto para o afluente quanto para o efluente os quais apresentaram coeficientes iguais a 0,993 e 0,872, respectivamente, reafirmando os resultados obtidos através da regressão linear.

A Tabela 3 apresenta a estatística descritiva dos dados de DBO₅ e DQO utilizados na aplicação das técnicas estatísticas de controle de processo.

Tabela 3. Estatística descritiva de DBO₅ e DQO no efluente final.

Parâmetro	Média (mg. L⁻¹)	Desvio Padrão	CV (%)	Mínimo (mg. L⁻¹)	Máximo (mg. L⁻¹)
DBO₅	51,46	21,25	41,29	26,60	131,50
DQO	127,8	45,15	35,33	70,00	263,00

Através da estatística descritiva, verifica-se que os dados possuem alto coeficiente de variação por apresentar valores acima de 20% (Gomes, 1987), o que significa que os dados não são homogêneos (Pimentel Gomes, 1987). Para a DBO₅, 8 amostras estão acima da concentração máxima permitida de 60

mg.L⁻¹ O₂ para lançamento de uma estação de tratamento de esgoto determinada pelo IAP. Considerando-se a concentração máxima de 150 mg.L⁻¹O₂ para DQO, 8 amostras encontram-se acima do limite máximo permitido.

Para a aplicação dos gráficos de controle é necessário que os dados

apresentem normalidade e esta pode ser verificada por meio do gráfico de probabilidade normal demonstrado nas

Figuras 3 e 4, onde os dados devem estar localizados, aproximadamente ao longo de uma linha reta.

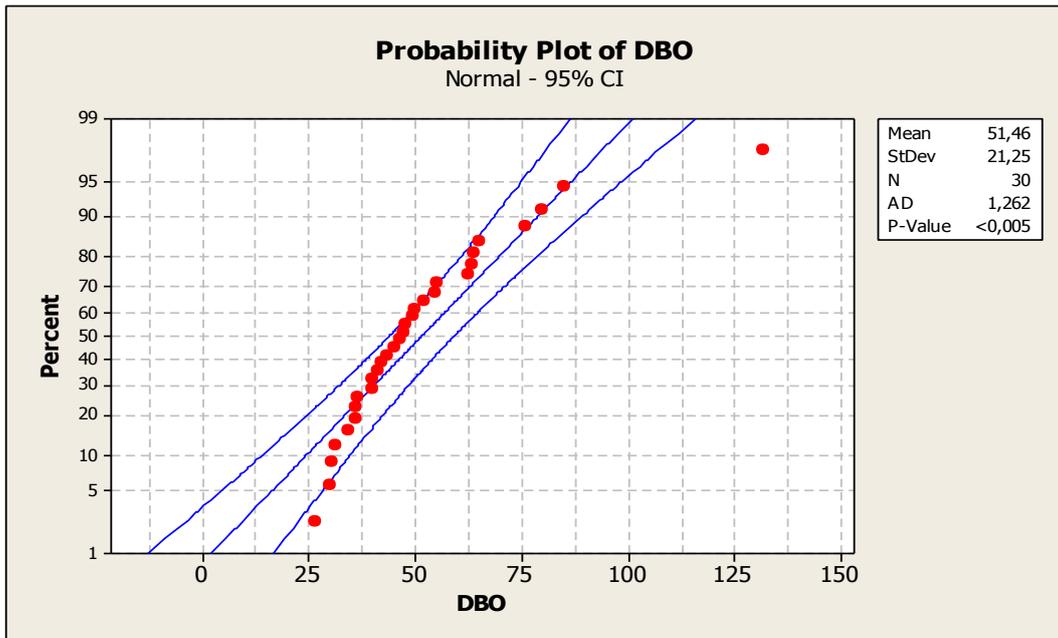


Figura 3. Normalidade de Anderson-darling dos dados da DBO₅.

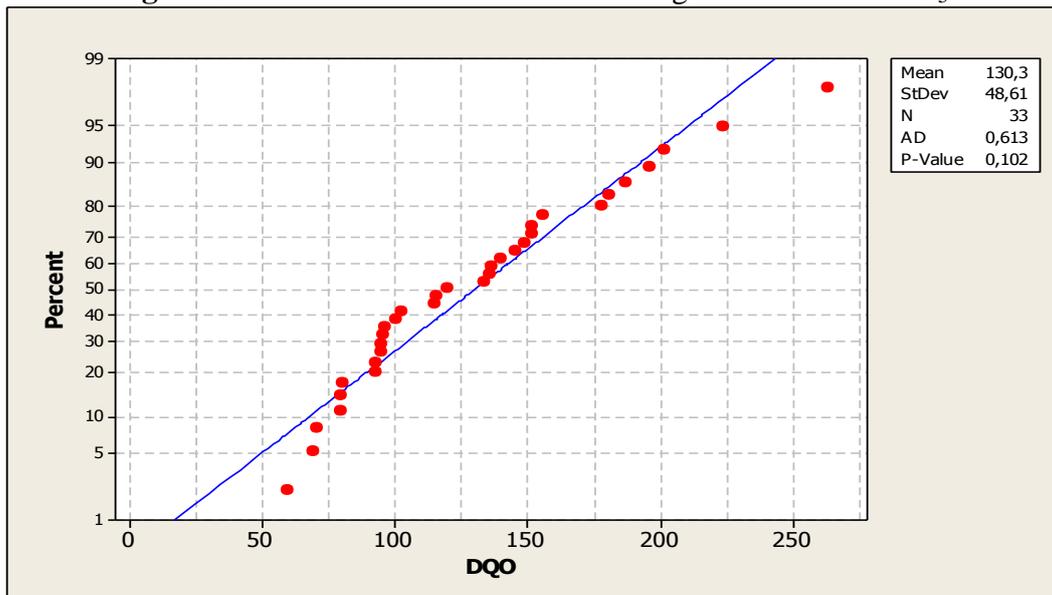


Figura 4. Normalidade de Anderson-darling dos dados da DQO.

Através do teste de Anderson-darling verifica-se que os dados de DBO₅ não são normais, por apresentar p-valor abaixo de 0,05, havendo a necessidade de utilização da transformação *box cox* antes da

aplicação do gráfico de controle. Já os dados de DQO são normais já que p-valor é igual a 0,102. Nas Figuras 5 e 6, pode-se observar o gráfico \bar{x} individual da DBO₅ e DQO

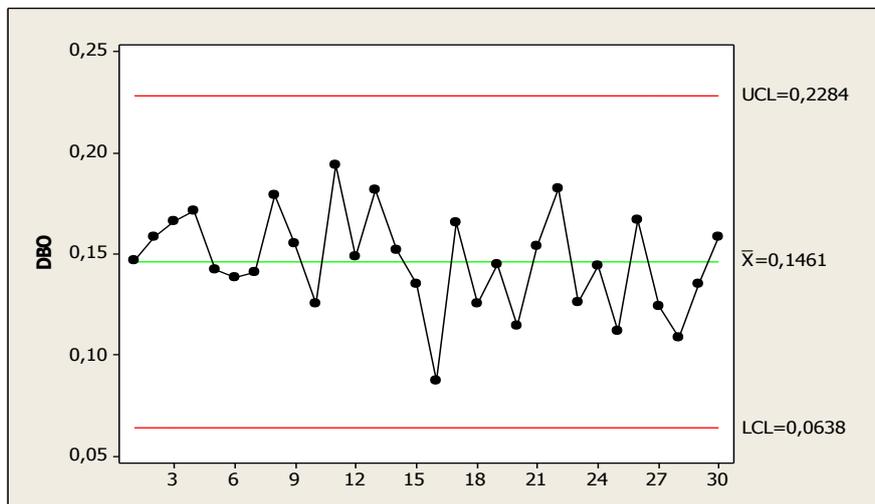


Figura 5. Gráfico de controle \bar{x} individual dos dados transformados da DBO₅.

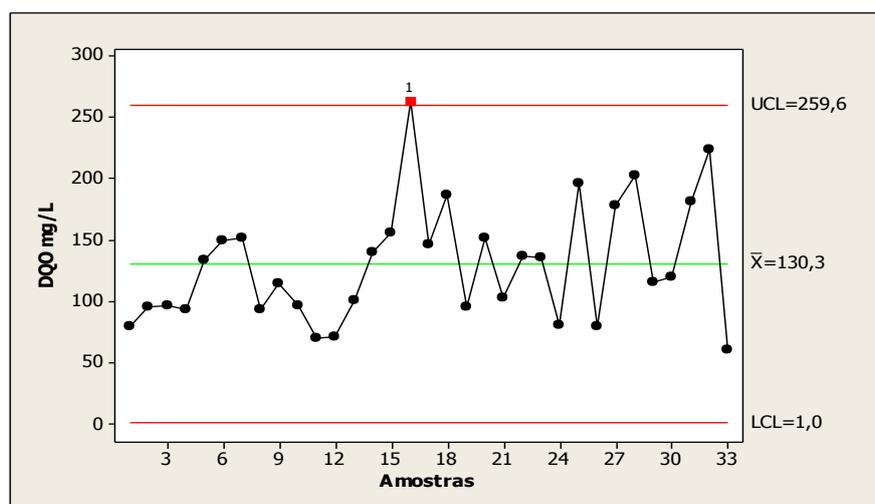


Figura 6. Gráfico de controle \bar{x} individual dos dados de DQO.

Através do gráfico, verifica-se que o processo está sob controle estatístico, pois não apresenta tendências, desvios e pontos que extrapolem os limites de controle. Aplicando a capacidade do processo

obteve-se o índice igual a 0,14, ou seja, o processo é incapaz ou inadequado. Esse baixo índice pode ser justificado por existir 8 valores acima de 60 mg.L⁻¹.

Através da Figura 6, observa-se que o processo de tratamento de esgoto está fora de controle, pois a amostra 16 está acima do limite superior de controle. Esse valor alto pode ter ocorrido por falhas no sistema de operação da estação como a descarga de lodo dos reatores anaeróbios, bem como a falta de dosagem do coagulante ou dosagem inadequada. Aplicando a capacidade do processo, obteve-se como índice o valor de 0,15, ou seja, o processo é incapaz ou inaceitável para atingir o limite especificado, que pode ser justificado pela ocorrência de 8 valores acima do limite especificado (MONTGOMERY, 2004).

4. CONCLUSÃO

O estudo fornece subsídios para a estimativa de DBO₅ a partir de resultados de análise e DQO tanto para esgoto bruto, como para efluentes de reatores anaeróbios com pós-tratamento físico-químico.

Análises estatísticas dos resultados obtidos nos controles de rotina do sistema selecionado indicaram a possibilidade de substituição de análises de DBO₅ por análises de DQO, a um nível de confiança de 95% tornando possível a redução de custos laboratoriais para monitoramento de estações de tratamento de esgoto doméstico.

Em caso de pesquisa ou de necessidade de grande precisão de resultados, recomenda-se a utilização das análises de DBO₅.

A estação de tratamento de esgoto encontra-se com processo de tratamento controlado, porém, o baixo índice de capacidade de processo obtido, indica que não possui unidades de tratamento suficientes para que garanta a qualidade do efluente final a fim de atender a legislação.

Apesar da normalidade e independência dos dados, a estação de tratamento mostrou não ser capaz de atender sempre a legislação, pois os índices de capacidade mostraram-se baixos.

A estação também apresentou falhas no seu funcionamento e operação, por não estar em controle estatístico.

5. REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20a ed. Estados Unidos da América, 1998.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 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. **Diário oficial da União**, 18 de março de 2005.
- CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. São Paulo: Editora Saraiva, 2002.
- CRITES, R.; TCHOBANOGLIOUS, G. **Small and decentralized wastewater management systems**. Boston: Ed. McGraw-Hill, 1998. 1084 p.
- GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: Editora Nobel, 1987.
- JACHETTI, D. M. Estudo da Microfauna Presente no **Tratamento de Efluentes de uma Empresa Curtidora de peles bovinas – Bioindicadores de lodo ativado**. Monografia, UNISC, Campos Santa Cruz do Sul, 2005.
- JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995.
- MICHEL, R., FOGLIATTO, F. S. Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos. **Gestão & Produção**. v. 9, n. 1, p. 17 – 31, 2002.
- 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.
- 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, p. 27 – 28, 2008.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: Editora Nobel, 1987.
- PRASAD, S.; CALIS, A. Capability indices for material balance accounting. **European Journal of operational Research**, v. 114, p. 93 – 114, 1999.
- SILVA, R. P.; SOUZA, F. G.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; VIGNA, G. P. Variabilidade espacial e controle estatístico do processo de perdas na colheita mecanizada do algodoeiro. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 742 – 752, 2007.
- SILVA, S. R.; MENDONÇA, A. S. F. Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a região da grande Vitória – ES. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 213-220, 2003.

SOUZA, A. M.; RIGÃO, M. H.

Identificação de variáveis fora de controle em processos produtivos multivariados. **Revista Produção**. v. 15, n. 1, p. 74 – 86, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao**

tratamento de esgotos. Belo

Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.