

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ESTUDO OPERACIONAL COMPARATIVO EM DIFERENTES CONCEPÇÕES DE ETES EM FORTALEZA

*José Reges da Silva Lobão¹
Marisete Dantas de Aquino¹
Raimundo Oliveira de Souza¹
Renato Teixeira Moreira¹
Francisco Chagas da Silva Filho¹

*COMPARATIVE OPERATIONAL STUDY IN DIFFERENT
CONCEPTIONS OF ETES IN FORTALEZA*

Recibido el 2 de abril de 2013; Aceptado el 29 de mayo de 2013

Abstract

The article provides a critical analysis of the sewage treatment quality in Fortaleza, on the following STPs: Aracapé III, São Cristóvão and Almirante Tamandaré. The analyzed parameters were Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Total Suspended Solids (TSS). It was also verified the sampling variability of the effluents to sewage treatment, for the parameters BOD, COD and TSS. Analytical approaches were made through statistical treatment of the obtained data, as well as the contribution to the approximation of the design methodologies with changes of variables involved in the performance of the studied STPs. The adopted methodology was the qualitative and quantitative inspection and testing, of parameters, including assessment of operational efficiency and reliability.

Keywords: Reliability analysis; Sewage treatment; Environment.

¹ Universidade Federal do Ceará, Brasil

*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Bloco 713, Avenida Humberto Monte S/N, Campus do Pici. Fortaleza-CE. CEP 60451-970, Brasil. Email: regislobao@bol.com.br

Resumo

O artigo estabelece uma análise crítica sobre a qualidade do tratamento de efluentes em Fortaleza, relativos às seguintes ETEs: Aracapé III, São Cristóvão e Almirante Tamandaré. Os parâmetros analisados foram a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e os Sólidos Suspensos Totais (SST). Também verificou-se a variabilidade amostral dos efluentes ao tratamento de esgotos, para os parâmetros DBO, DQO e SST. Foram efetuadas abordagens analíticas, através de tratamento estatístico dos dados obtidos, bem como a contribuição para a aproximação das metodologias de projeto com alterações das variáveis envolvidas na atuação das ETEs estudadas. A metodologia adotada foi à inspeção e a experimentação, qualitativa e quantitativa de parâmetros, compreendendo a avaliação da eficiência operacional e da confiabilidade.

Palavras chave: análises de confiabilidade, tratamento de esgoto, meio ambiente.

Introdução

O principal objetivo deste trabalho foi estabelecer um parecer crítico construtivo à qualidade do tratamento de efluentes na cidade de Fortaleza, relativos às ETEs: Aracapé III, São Cristóvão e Almirante Tamandaré, operando em escala real. Os parâmetros analisados foram a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e os Sólidos Suspensos Totais (SST).

Dentre os recursos naturais mais importantes para o homem, o mais relevante é a água, onde é perceptível a sua inevitável escassez no Planeta. Atualmente, grande parte dos esgotos domésticos é submetida a tratamentos, que resultam em efluentes compatíveis aos padrões de lançamento. Mas não é suficiente para um veredicto positivo sobre a eficiência de uma ETE, ou seja, quando os valores médios dos dados observados atendem os padrões da legislação, essa poderá estar operando fora desses limites em grande parte do tempo. Em contrapartida, uma ETE que apresenta valores médios em discordância com o padrão de lançamento poderá atender à legislação em tempo considerável.

Em alinhamento às diversas incertezas presentes na fase de projeto e operação de ETE's, é provável que existam alguns riscos de falha, que são inevitáveis, e as mesmas devem ser projetadas em função de níveis aceitáveis de riscos. Também foram investigadas as eficiências de remoção de DBO, DQO e SST, por estarem relacionadas com a produtividade e a qualidade operacional das emissões de esgotos tratados. Metcalf e Eddy (1991), definem a confiabilidade (Cf) como sendo uma função da probabilidade de falhas (P), que pode ser expressa pela Equação:

$$Cf = 1 - P(falha)$$

Equação (1)

Em que:

Cf: Confiabilidade

$$1 - P(falha) = 1 - P(Conc. efluente > Conc. requerida)$$

Equação (2)

Logo, a probabilidade de falhas fica associada à função de distribuição da concentração do efluente. A função de distribuição lognormal tem sido utilizada com uma boa adaptação na preconização de concentração efluente para a DQO, a DBO e os SST, no efluente de uma ETE (Eisenberg et al., 2001), sendo que na pesquisa efetuada, a distribuição lognormal foi a mais conservadora. Então, torna-se essencial, neste caso, a introdução de algumas definições relativas à distribuição lognormal para o entendimento da metodologia empregada.

A distribuição lognormal pode ser conceituada como a distribuição de uma variável aleatória, cujo logaritmo representa uma distribuição normal. Logo, uma variável aleatória e positiva x é dita seguir um modelo distributivo lognormal, com a média " μ_x " e o desvio padrão " σ_x ", se a variável $y = \ln(x)$ for normalmente distribuída com a média " μ_y " e desvio padrão " σ_y ". A função lognormal é dada por (CROW e SHIMIZU, 1988):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x \sigma_y}} e^{-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad x > 0$$

Equação (3)

$$f(x) = 0$$

Equação (4)

Tal distribuição é assimétrica, com uma extensa cauda à direita da média. Usando a relação $y = \ln(x)$, quando μ_x e σ_x são conhecidos para x , a média e a variância correspondentes para y podem ser determinadas como a seguir (BROADBENT, 1956, CROW e SHIMIZU, 1988):

$$\mu_y = \ln \left(\frac{\mu^2 x}{\sqrt{\mu^2 x + \mu^2 y}} \right)$$

Equação (5)

$$\sigma^2 y = \ln \left(1 + \frac{\sigma^2 x}{\mu^2 x} \right)$$

Equação (6)

As equações 5 e 6 foram utilizadas para desenvolver a equação 17, que trata da confiabilidade apresentada por Niku et al (1979). Tal equação permitirá quantificar o número de desvios – padrão ou variável normal central reduzida ($Z_{1-\alpha}$), que está relacionada com a probabilidade de não excedência da concentração efluente obtida com relação aos padrões legais.

Materiais e Métodos

A determinação da confiabilidade, a partir da função de distribuição lognormal da concentração do efluente, pode ser utilizada em dois momentos: uma durante à fase de elaboração do projeto e a outra na fase de operação. No primeiro caso, uma vez adotado o nível de confiabilidade desejado, no cenário $Z_{1-\alpha}$ (90%) para cada ETE, determina-se um valor médio para cada constituinte, garantindo desta forma, que a variação de concentração esperada só ultrapasse os valores permitidos em um número de vezes igual ao previsto pelo valor da confiabilidade adotada (nível de confiabilidade 90%). O valor médio de concentração do efluente a ser adotado em projeto é obtido em função de um coeficiente de confiabilidade (CDC).

$$(CDC) = (V_x^2 + 1)^{1/2} \cdot e^{(-Z_{1-\alpha} \cdot (\ln(V_x^2 + 1))^{1/2})}$$

Equação (7)

Este “CDC” relaciona valores das concentrações médias de projeto ao padrão a ser alcançado em uma base probabilística. O valor médio do constituinte m_x , poderá ser obtido da equação:

$$m_x = (CDC) \cdot X_s$$

Equação (8)

Em que:

μx : Média da concentração do constituinte

X_s : Concentração padrão requerida

Vx : Coeficiente de Variação (CV)

$Z_{1-\alpha}$: número de desvios – padrão ou variável normal central reduzida (probabilidade de não excedência)

O coeficiente de variação, que auxiliará no cálculo do coeficiente de confiabilidade (CDC), é dado pela relação entre o desvio-padrão e a média anual das concentrações relativas aos parâmetros operacionais.

$$\left(CV = \frac{\sigma x}{\mu x} \right)$$

Equação (9)

Em que:

σx : Desvio-Padrão

μx : Média anual (frequência de coleta simples e mensal para todas as ETE's – ano 2006)

Supondo que, para uma determinada probabilidade de falha α entre 0 e 1, mais perto de 0, deseja-se projetar um processo para cada variável lognormal “x” observada, com a propriedade:

$$P(x \leq X_s) = 1 - \alpha$$

Equação (10)

Em que:

$1 - \alpha$: Probabilidade de não excedência

X_s : Concentração padrão requerida

Assim, $(1 - \alpha)$ é a probabilidade que a variável x não exceda o padrão X_s . Para o desenvolvimento da confiabilidade NIKU et al. (1982), foram utilizadas as propriedades da função lognormal, onde a média da função normal é zero ($\mu y = 0$) e a variância é um ($\sigma^2 y = 1$). Desta forma, a tabela 1 elaborada para a distribuição normal central reduzida vem da equação 11:

$$P = \left(Z \leq \frac{\ln X_s - \mu y}{\sigma y} \right) = 1 - \alpha$$

Equação (11)

Em que:

Z: Variável normal padronizada

$\left(\frac{\ln X_s - \mu_y}{\sigma_y} \right)$: Valor padrão normal variado (Z 1- α)

O objetivo foi desenvolver uma expressão para o coeficiente de confiabilidade, a partir do qual possa ser computado o valor médio necessário para que o processo garanta um nível de confiabilidade (1- α), dado um conhecido padrão X_s e um calculado coeficiente de variação, (CV = σ_x / μ_x). O coeficiente de confiabilidade relaciona μ_x ao padrão X_s para um nível de confiabilidade de 1 – α , que é fundamentado nas propriedades originais e não dos logaritmos dos dados. Foi tomada a concentração de projeto de um efluente, que permite garantir uma confiabilidade durante uma determinada fração temporal, e pode ser dada pelo produto da concentração padrão legal, específica a cada item, pelo coeficiente de confiabilidade (CDC).

$$CP = X_{sx}(CDC)$$

Equação (12)

Em que:

CP: Concentração de Projeto

X_s : Concentração padrão requerida pela legislação (CONAMA)

CDC: Coeficiente de Confiabilidade

No segundo caso, com base no X_s estabelecido pela legislação para ETE's em operação, onde a variação das concentrações efluentes altera a sua atuação, teremos uma nova concentração.

$$CO = (X_s) / CDC$$

Equação (13)

Em que

CO: Concentração de Operação

X_s : Concentração padrão requerida pela legislação (CONAMA)

CDC: Coeficiente de Confiabilidade

Para a determinação da confiabilidade, foi aplicado o modelo proposto por Metcalf & Eddy (1991) e Niku et al. (1979). A confiabilidade é então calculada em função da média anual de concentração constituinte efluente (frequência de coleta simples e mensal), da concentração requerida padrão (legislação) e do desvio-padrão, conforme apresentado nas Equações 14 e 17. O resultado representa a confiabilidade decorrente de todos os fatores intervenientes.

$$Cf = \text{Distrib.NormalPadrão}(Z_{1-\alpha}) \quad \text{Equação (14)}$$

Para a dedução da equação da confiabilidade, a média e a variância da função lognormal (equações 5 e 6) foram rearranjadas:

$$\mu_y = \ln(\mu_x) - \frac{1}{2}\sigma^2_y \quad \text{Equação (15)}$$

$$\sigma^2_y = \ln\left(1 + \frac{\sigma^2_x}{\mu^2_x}\right) = \ln(1 + CV^2_x) \quad \text{Equação (16)}$$

Desta forma, substituindo-se as equações 15 e 16 na expressão 10, chegou-se à equação 17:

$$Z_{1-\alpha} = \ln X_s - \left[\ln \mu_x - \frac{1}{2} \ln(1 + CV^2_x) \right] * \frac{1}{\sqrt{\ln(V_x + 1)}} \Rightarrow$$

$$Z_{1-\alpha} = \left[\frac{-\ln\left(\left(\frac{mx}{X}\right) * \left(\frac{1}{\sqrt{V_x + 1}}\right)\right)}{\sqrt{\ln(V_x + 1)}} \right] \quad \text{Equação (17)}$$

Em que:

mx: Média da concentração do constituinte

Xs: Concentração padrão requerida

Vx: Coeficiente de Variação (CV)

Z_{1-α}: número de desvios – padrão ou variável normal central reduzida (probabilidade de não excedência)

Os dados utilizados foram obtidos junto à CAGECE (Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará), segundo as análises laboratoriais e visitas técnicas, entre janeiro e dezembro de 2006. Os exames laboratoriais seguiram os métodos preconizados no Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005). Foram consideradas três ETE's em operação na cidade de Fortaleza. Tais dados foram obtidos no período de um ano de monitoramento (2006), sendo a frequência de coletas simples e mensal para todas as estações.

De um modo geral, para as ETE's em estudo, foram tomadas as concentrações afluentes e efluentes para DBO, DQO e SST, sendo constituído cada parâmetro, por 24 dados (12 meses do ano 2006), totalizando 216 dados para a composição tanto das análises de eficiência operacional como para os testes de confiabilidade. Os valores de concentração dos efluentes considerados como metas foram obtidos seguindo as recomendações do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), sendo que para a DQO (200mg/L), para a DBO (60mg/L) e para os SST (150mg/L).

A metodologia foi baseada em dois procedimentos: o primeiro sem probabilidade preconizada, onde foi calculada a confiabilidade em função da média efluente anual para cada parâmetro, do desvio-padrão, do coeficiente de variação e do $Z_{1-\alpha}$, que é quantificado (equação 17) e inserido na Tabela da Distribuição Normal Padrão (tabela 1), para a obtenção da confiabilidade. Já, no segundo método, a probabilidade é estabelecida para a quantificação tanto das concentrações de projeto quanto das concentrações de operação. Essas concentrações dependem das metas legais (CONAMA) e do CDC, que é calculado em função da média anual efluente (DQO, DBO, SST), do desvio-padrão, do coeficiente de variação (CV) e do $Z_{1-\alpha}$ (90%), que é dado de entrada para a obtenção da confiabilidade na Tabela da Distribuição Normal Padrão (tabela 1).

As verificações das eficiências foram calculadas através das médias anuais de remoção dos parâmetros avaliados e das médias preconizadas para cada tipologia de tratamento, obtidas segundo Von Sperling (1996), que foram comparadas com os resultados dos valores médios deste trabalho. Essas referências foram empregadas na presente pesquisa, dentre elas: Reator UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (DQO – 55 a 70%, DBO – 60 a 75%, SST – 65 a 80%), Decanto-Digestor (DQO – 70 a 80%, DBO – 80 a 85%, SST – 80 a 90%) e Lagoas de Estabilização (DQO – 65 a 80%, DBO – 75 a 85%, SST – 70 a 80%).

A quantificação da confiabilidade foi executada conforme a tabela 1, que mostra a relação entre os valores do $Z_{1-\alpha}$ (número de desvios – padrão) e a confiabilidade de não excedência, onde em determinado período estabelecido, os valores das concentrações efluentes não irão ultrapassar os padrões legais deliberados pelo CONAMA e por órgãos normatizadores regionais.

Tabela 1. Distribuição Normal Padrão

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-3.0	0.0013	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000
-2.9	0.0019	0.0018	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0020	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0126	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0238	0.0233
-1.8	0.0359	0.0352	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0300	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0570	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0722	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2297	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7703	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7853
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9278	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9430	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9648	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9700	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9762	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9874	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9990	0.9993	0.9995	0.9997	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	1.0000

Nota: Dados de entrada $Z_{1-\alpha}$ para a obtenção da confiabilidade

Resultados e Discussão

Durante o período de estudo (2006), foram calculadas as confiabilidades, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Análise de Confiabilidade – Procedimento 01 (2006)

DADOS BÁSICOS DAS ETEs – 2006									
ETEs	Aracapé III			São Cristóvão			Almirante Tamandaré		
Processo de Tratamento	Sistema UASB			Sistema de Lagoas de Estabilização			Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio		
Vazão média atual (l/s)	7.5			30.7			19.9		
População atendida (hab)	1800			20000			4000		
Vazão de projeto (l/s)	10			57			25		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Concentração Média Afluente (mg/L)	498.6	651.7	171.5	446.2	596.8	265.8	136.4	276.3	290.9
Eficiência de remoção (%)	77.1	62.5	59.2	96.5	65.6	69.9	51.4	62.5	74.5
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	60	55	65	75	65	70	70	80	80
Meta de Concentração Adotada (mg/L)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Concentração Média Efluente (mg/L)	37.3	246.7	75.0	42.4	72.5	54.8	64.1	78.9	50.6
Desvio - padrão (mg/L)	38.28	38.63	17.84	31.78	37.55	18.92	49.46	37.27	38.43
Coefficiente de variação (CV)	1.03	0.16	0.24	0.75	0.52	0.35	0.77	0.47	0.76
Valor Z1- α	0.984	-0.3518	1.72	0.84	1.9	1.72	0.29	1.81	1.82
Confiabilidade (%)	83.8	36.2	95.7	80.0	97.1	95.8	61.4	96.5	96.6

Conforme a tabela 2, a tipologia que obteve o melhor desempenho foi a da ETE São Cristóvão, tanto com relação às eficiências operacionais (DBO – 96.5%, DQO – 66.5% e SST – 69.9%) como pelas confiabilidades calculadas (DBO – 80%, DQO – 97.1% e SST – 95.8%), considerando o conjunto dos três parâmetros. A ETE Aracapé obteve a menor confiabilidade (DQO – 36.2%), enquanto que as demais ETE's, apresentaram confiabilidades variando entre 96.5% e 97.1%, para este item. Com relação aos coeficientes de variação operacionais, para a DQO, apresentou menor variabilidade a ETE Aracapé, 0.16. Apesar do resultado, este item se mostrou pouco confiável devido a alta concentração afluente (651.7mg/L), a baixa eficiência operacional (62.5%) e a concentração efluente de 246.7mg/L, superior a meta (200mg/L), que também influencia no cálculo do Z1- α (-0.3518), conforme a equação 17. O valor obtido de Z1- α é parâmetro de entrada na Tabela da Distribuição Normal Padrão, para a obtenção de uma confiabilidade de 36.2%.

Tabela 3. Análise de Confiabilidade – Procedimento 02 (2006)

DADOS BÁSICOS DAS ETEs – 2006									
Processo de Tratamento	Sistema UASB			Sistema de Lagoas de Estabilização			Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio		
Vazão média atual (l/s)	7.5			30.7			19.9		
População atendida (hab)	1800			20000			4000		
Vazão de projeto (l/s)	10			57			25		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Concentração Média Afluente (mg/L)	498.6	651.7	171.5	446.2	596.8	265.8	136.4	276.3	290.9
Eficiência de remoção (%)	77.1	62.5	59.2	96.5	65.6	69.9	51.4	62.5	74.5
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE – CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média Eficiência Adotada (%)	60	55	65	75	65	70	70	80	80
Meta de Concentração Adotada (mg/L)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Concentração Média Efluente (mg/L)	37.3	246.7	75.0	42.4	72.5	54.8	64.1	78.9	50.6
Desvio padrão (mg/L)	38.28	38.63	17.84	31.78	37.55	18.92	49.46	37.27	38.43
Coeficiente de Variação	1.03	0.16	0.24	0.75	0.52	0.35	0.77	0.47	0.76
1- α (%)	90	90	90	90	90	90	90	90	90
α (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Z (90%)	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28
CDC	0.48	0.83	0.76	0.53	0.6	0.69	0.53	0.62	0.52
Concentração de Projeto (mg/L)	29	165	114	32	121	103	32	125	79
Concentração de Operação (mg/L)	124	242	197	113	332	219	114	321	283

Na tabela 3, foi induzida uma confiabilidade $1-\alpha$ de 90%, e pela equação 1, foi obtido um α de 10% (valores que excedem o exigido). Esse percentual é dado de entrada na Tabela da Distribuição Normal Padrão. Logo, pela equação 17, foi determinado o $Z_{1-\alpha}$ de -1.28, para 90% de confiabilidade preconizada. Então foram calculados os coeficientes de confiabilidade (equação 7), onde foi constatada uma melhor atuação da ETE Aracapé (CDC – 0.83), para a DQO. Para as outras ETE's, o CDC variou entre 0.6 e 0.62. Como o cálculo do CDC depende do coeficiente de variação e do $Z_{1-\alpha}$, logo a ETE Aracapé obteve o melhor índice de confiabilidade (CDC – 0.83), por apresentar um CV de 0.16, sendo a menor variabilidade para a DQO. Tal resultado, traduz uma maior proximidade entre as concentrações de projeto e operação, em função das metas permitidas pela legislação do CONAMA e estabelecida por órgãos normatizadores regionais (DQO – 200mg/L). Claro que, quanto menor for a concentração afluente (DQO), maior será a

proximidade das concentrações de projeto e operação com às metas legais. Mesmo obtendo um elevado CDC e uma baixa variabilidade para a DQO, a ETE Aracapé apresentou baixa confiabilidade (36.2%), porque a confiabilidade depende também das concentrações afluentes e efluentes, da eficiência operacional e dos padrões estabelecidos.

De acordo com a figura 1, o comportamento das curvas para diferentes níveis de confiabilidades se altera à medida que se elevam os graus de confiabilidade desejados. Cabe enfatizar que quanto maior for a confiabilidade, menores deverão ser os coeficientes de variação para a obtenção de elevados valores de coeficientes de confiabilidade. Para se ter 90% de confiabilidade de uma ETE, foi obtido um CDC igual a 0.50, então seria necessário que a ETE operasse com um CV médio de 0.77. Para uma confiabilidade de 80%, até os valores elevados de CV são suficientes para a obtenção de altos valores de CDC.

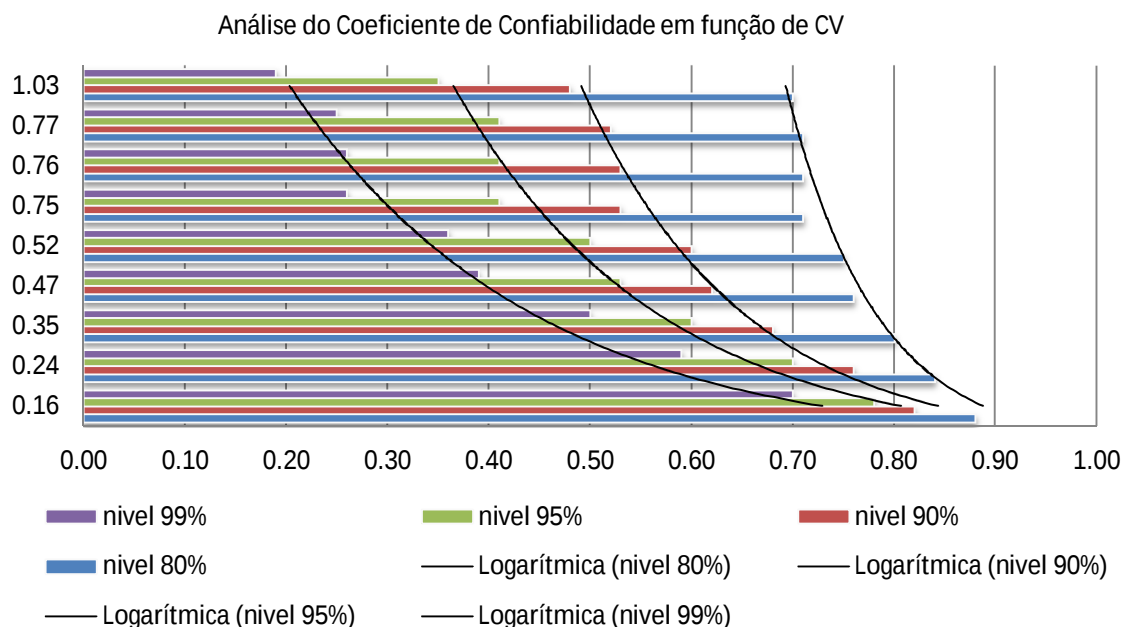


Figura 1. Análise do Coeficiente de Confiabilidade em função do Coeficiente de Variação -DQO

No mesmo exemplo, para um CV de 0.77 e nível de confiabilidade de 80%, o valor do CDC foi de 0.70. Logo, nesta situação, os valores de CDC são altos, pois cerca de 20% das concentrações excederão os níveis legais. Com um CV de 1.03 e nível de 80%, foi obtido um CDC de 0.71. Para o mesmo CV e nível de 99%, foi quantificado um CDC de 0.2 (figura 1). Logo, só 1% das concentrações excederá o exigido. O gráfico (figura 2), mostrou as concentrações de projeto que seriam necessárias ao padrões de 200mg/L de DQO em escala real de (CV).

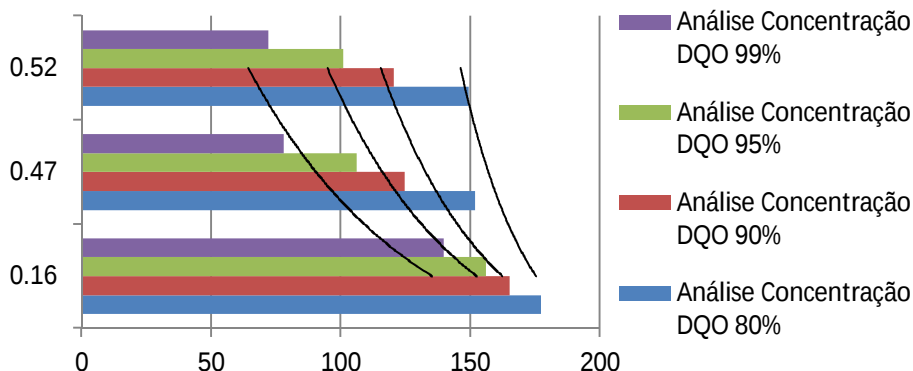


Figura 2. Análise do Coeficiente de Confiabilidade – DQO 2006

As concentrações de projeto são inversamente proporcionais aos coeficientes de variação bem como aos coeficientes de confiabilidade. No entanto, pelos dados seguirem uma distribuição lognormal, este comportamento é diferente para menores confiabilidades (figura 2), onde as linhas de tendência alteram a sua inclinação ao eixo y, à medida que o nível de confiabilidade é menor. A curva de 80%, a partir de um CV de 0.52, mostra as concentrações se elevando com maior expressão com relação à diminuição dos coeficientes de variação. Logo, ao escolher uma concentração maior, a probabilidade de superação a este valor será menor. Também foi constatado que, quanto maior o nível de confiabilidade, maiores serão as variações das concentrações de projeto e mais rigorosa será a operação da ETE, já que baseados na metodologia empregada, esses resultados refletem que, quanto maiores os níveis de confiabilidade menores deverão ser os itens que tenderão a ultrapassar às metas legais, logo neste caso, o risco é maior. Para os CV's de 0.16 e 0.52, e garantindo que 80% dos resultados atendessem ao padrão de lançamento de 200 mg/L para DQO (figura 2), seria necessário projetar uma ETE, cuja concentração efluente média fosse de 175 mg/L, caso ela apresentasse um CV de 0.16. No entanto, caso o CV fosse de 0.52 (maiores desvios-padrão), esta seria de 148 mg/L. Logo, para um mesmo nível de confiança, quanto maior for o coeficiente de variação menor deverá ser a concentração prevista (situação crítica), já que o CV em questão traduz uma maior variabilidade das concentrações efluentes de DQO. Para um CV de 0.16, o cenário operacional se tornaria mais favorável, podendo a ETE operar com uma concentração efluente média de 175mg/L. Já para os mesmos CV's e nível 99%, as concentrações seriam 140mg/L e 65mg/L, respectivamente. Logo, para níveis de confiança maiores (alto rigor), as concentrações preconizadas devem ser menores, e neste caso específico, deve ser garantido que apenas 1% ultrapasse às metas estabelecidas, onde no caso anterior, seria permitido que 20% superassem os mesmos padrões.

Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, foi constatado que 66.6% das ETE's atenderam os padrões legais para DBO e DQO, e 100% para SST, segundo às normas do CONAMA. Com relação aos padrões literários, Von Sperling (2005), detiveram os melhores desempenhos os sistemas de lagoas de estabilização e o UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), com eficiências respectivas de 96.5%, 65.6%, 69.9% e 77.1%, 62.5%, 59.2%, para as remoções de DBO, DQO e SST. Os resultados obtidos demonstraram a importância tanto da análise de desempenho como da investigação da confiabilidade. Também foi evidenciado que o monitoramento das ETEs deve ser feito de forma individual, promovendo a caracterização e diagnósticos para solucionar especificamente cada ETE, através de uma avaliação ampla e integrada. Foi entendido que as cargas aplicadas, as condições ambientais e os parâmetros operacionais são probabilísticos por natureza e estão sujeitos às mudanças aleatórias na sua intensidade, composição e simultaneidade de ocorrência. Há de se enfatizar que os resultados obtidos mostraram a realidade existente, mas não a capacidade de cada sistema, que podem atingir desempenhos superiores, bem como melhores confiabilidades.

Agradecimentos. Os autores agradecem o apoio para o desenvolvimento da pesquisa à Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) bem como à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

Bibliografia

- APHA – AWWA- WPCF. (2005) Standart methods for the examination of water and wastewater. 19th edition. Wasghington D.C. American Public Health Association. 953p.
- Brasil. Resolução. (2005) Nº 430/10. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- Broadbent. (1956) S. R. Lognormal Approximation to Products and Quotients. *Biometrika*, **43**, n. 3/4, 404-417.
- Crow, E. L. & SHIMIZU. K. (1988) Lognormal distributions: theory and applications. Series: Statistics, textbooks and monographs, **88**. New York: Marcel Dekker, Inc. 387p.
- Eisenberg, D., SOLLER, J., SAKAJI, R. e OLIVIERI, A. (2001) A methodology to evaluate water and wastewater treatment plant reliability". *WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY*. **43** (10), 91-99.
- Metcalf e Eddy. (1991) Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. Metcalf e Eddy Inc.-3rd edição, revisada por George Tchobanaglou e Frank Burton. McGraw-Hill. USA.
- Niku, S., SCHROEDER, E.D., SAMANIEGO F.J. (1979) Performance of activated sludge process and reliability-based design. *Journal Water Pollution Control Association*, **51** (12), 2841 – 2857.
- Niku, S., Schroeder, E.D., Haugh, R.S. (1982) Reliability and stability of trickling filter processes. *JOURNAL WPCF*, **54** (2), 129-134.
- Von Sperling, M. (1996) Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2. ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais;