

II-173 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS AVANÇADA E DE GRANDE PORTE (ETE NORTE – DF) APLICANDO CONCEITOS DE INDICADORES DE DESEMPENHO E ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

Izabela Pinheiro Alves Felipe Barros⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG.

Marcos von Sperling

Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Carlos Eduardo Borges Pereira

Superintendente de Operação e Tratamento de Esgotos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

Silvia Maria Alves Corrêa Oliveira

Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Lucas Marques

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Rua Tancredo da Silva Pinto, 56/502 - Silveira - Belo Horizonte - MG - CEP: 31140-490 - Brasil - Tel: (31) 8863-5335 - e-mail: ipafbarros@gmail.com

RESUMO

Uma ferramenta útil para avaliação e comparação do desempenho de estações de tratamento de esgotos (ETEs) são os indicadores de desempenho (IDs). Para subsidiar a definição de IDs a serem utilizados para avaliação de ETEs, desenvolveu-se uma metodologia de avaliação que considera estatística descritiva, determinação de metas de concentrações efluente e eficiências de remoção, análise de confiabilidade e verificação da utilização da capacidade instalada, dentre outros procedimentos. O presente trabalho apresenta a aplicação da referida metodologia para avaliação de uma estação de tratamento avançada e de grande porte, a ETE Norte localizada no Distrito Federal. Obteve-se um conjunto de IDs, tais como: percentual de atendimento às metas de concentração e eficiências de remoção, percentual de utilização da capacidade hidráulica instalada, produção de lodo por volume de esgoto tratado e custos por volume de esgoto tratado. Constatou-se que os IDs calculados permitem uma comparação representativa do desempenho das referidas ETEs. Além disso, identificou-se que a ETE Norte apresenta bom desempenho, apresentando bons percentuais de atendimento às metas de concentrações efluente e eficiências de remoção. Sua produção de lodo, consumo de insumos e custos são representativos, o que é coerente com seu porte e tecnologia empregada na sua operação. Detectou-se também que a ETE Norte sempre funcionou em subcarga hidráulica, apesar de receber cargas orgânicas afluentes elevadas.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de desempenho global, indicador de desempenho, análise de confiabilidade, lodos ativados convencional, metas de atendimento.

INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios das entidades reguladoras dos serviços de esgotamento sanitário é a avaliação de estações de tratamento de esgotos (ETEs) conforme a Lei nº 11.445 de 2007, uma vez que a maioria dos sistemas de avaliação de desempenho dos serviços de esgotos está direcionada para uma perspectiva de gestão de saneamento e não se aplica especificamente a estações de tratamento de esgotos (MATOS *et al.*, 2003). Além disso, tradicionalmente, as ETEs são avaliadas apenas por indicadores financeiros (R\$/m³ esgoto tratado) e pela eficiência de remoção de certos constituintes dos esgotos (BROSTEL, 2001). Modelos mais globais de avaliação de desempenho de ETEs, que levem em consideração também a qualidade dos serviços, a sustentabilidade econômico-financeira e o controle ambiental são ainda incipientes no Brasil.

A utilização de indicadores de desempenho (IDs) para avaliação de estações de tratamento de esgotos se justifica pelos atributos que os mesmos são capazes de agregar a um modelo de avaliação, como por exemplo, diminuir a assimetria de informações, incrementar a transparência das ações do prestador de serviços públicos, avaliar objetiva e sistematicamente a prestação dos serviços, além de aumentar a eficiência e a eficácia da atividade de regulação (SILVA E BASÍLIO SOBRINHO, 2006). ISO (2007) define indicador como parâmetro, ou valor derivado de parâmetros, que fornece informações sobre um assunto com uma importância que ultrapassa a que está diretamente associada a um valor de parâmetro, e define desempenho como resultados de uma atividade, de um processo ou de uma organização.

Complementar a isto, o uso da análise de confiabilidade tem como objetivo a verificação da viabilidade do atendimento às metas adotadas para a qualidade do efluente tratado. Em termos de desempenho de uma estação de tratamento, a confiabilidade pode ser entendida como a porcentagem de tempo em que se conseguem as concentrações esperadas no efluente para cumprir com padrões e metas de lançamento (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2007).

O presente estudo visa apresentar um método de avaliação de desempenho global desenvolvido a partir da utilização de alguns indicadores de desempenho simples e da análise de confiabilidade. O método foi estruturado para estações de tratamento de esgotos, de maneira geral, mas o presente artigo apresenta um exemplo de aplicação para a análise de uma ETE real, avançada, representativa e de grande porte, utilizando o processo de lodos ativados com remoção biológica de nutrientes e polimento físico-químico, ao longo de mais de 10 anos de operação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da estação de tratamento de esgotos

A ETE objeto de estudo do presente trabalho é a ETE Norte, localizada no Distrito Federal e operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), tendo sido projetada para atender uma população de cerca de 250 mil habitantes, com capacidade para vazão média de 920 L/s. A ETE é uma das mais importantes do país, devido à sua configuração e aos amplos objetivos do tratamento, sendo o sistema constituído por lodos ativados convencional com remoção biológica de nutrientes (nitrogênio e fósforo) seguida de polimento físico-químico final (flotação). Para a remoção biológica de N e P, o reator possui compartimentos anaeróbio, anóxico e aeróbio, com recirculação interna para o retorno de nitratos. A Figura 1 apresenta o fluxograma da ETE Norte.

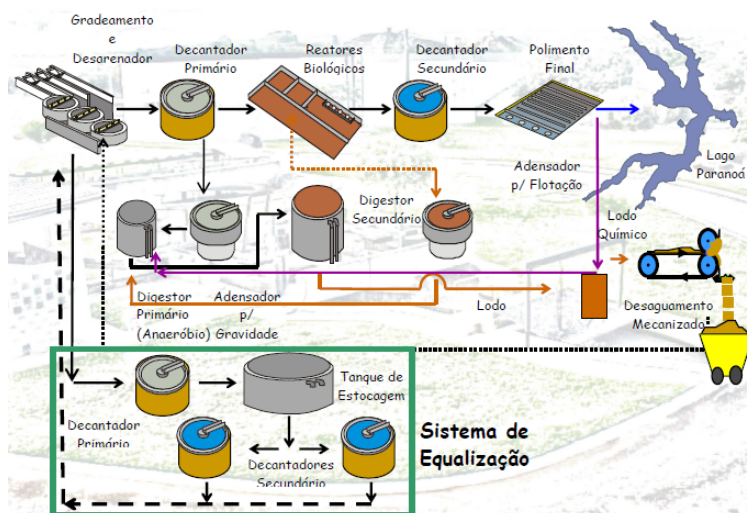


Figura 1. Fluxograma da ETE Brasília Norte. Fonte: Caesb (2011).

Obtenção dos dados físico-químicos

Os dados utilizados foram obtidos entre janeiro de 2000 e julho de 2011 para o afluente e o efluente final da ETE, com frequência de monitoramento variável entre diária, duas/três vezes por semana e semanal, em função de cada parâmetro. Avaliaram-se os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos (SS), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-Amon) e fósforo total (P tot).

Análise das concentrações efluentes e eficiências de remoção

Para o presente trabalho estabeleceram-se metas de concentração efluente e metas de eficiência de remoção, levando em consideração e adaptando as metas definidas pelo Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (Prodes) da Agência Nacional de Águas (ANA), as metas adotadas pela própria prestadora de serviço e as condições de funcionamento observadas na ETE (Tabela 1). No estabelecimento das metas, preocupou-se em se manter uma coerência entre as concentrações médias observadas no esgoto bruto e as eficiências de remoção. Observa-se que as metas estabelecidas são mais restritivas que a maioria dos padrões de lançamento de legislações estaduais brasileiras, uma vez que a ETE Norte possui uma concepção e objetivos de tratamento mais avançados.

Tabela 1: Metas adotadas para avaliação de desempenho da ETE Norte

Parâmetro	DBO	DQO	SS	NTK	N-Amon	P tot
Concentração efluente	30mg/L	90mg/L	20mg/L	12mg/L	10mg/L	1,0mg/L
Eficiência de remoção	90%	85%	90%	80%	-	85%

Obs: As metas de eficiência de remoção de DBO, DQO, SS, NTK e P tot correspondem à classe H do Prodes.

Em seguida, foram calculadas estatísticas descritivas dos dados, séries temporais de atendimento anual às metas e influência da sazonalidade no desempenho da ETE. A verificação da existência de diferença significativa devido à sazonalidade se deu pela comparação dos atendimentos às metas no período seco (de abril a setembro) e no período chuvoso (de outubro a março), utilizando o teste de hipótese U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), a partir do *software* Statistica 6.1. O referido teste de hipótese permite a comparação entre os valores médios de duas amostras independentes com número de dados distintos.

As referidas informações subsidiaram a análise dos IDs referentes aos percentuais de atendimento às metas estabelecidas para qualidade do efluente e eficiências de remoção.

Análise de confiabilidade

Para análise de confiabilidade deve-se, primeiramente, calcular o coeficiente de confiabilidade (CDC), que relaciona valores das concentrações médias à meta a ser alcançada em uma base probabilística. Se, por exemplo, uma meta ($X_{Máx}$) de 30 mg/L deve ser cumprida em 90% do tempo, o processo deve ser projetado e operado para alcançar uma concentração média efluente ($X_{Méd}$) tal que, mesmo com a variabilidade presente, este percentual seja alcançado. A seguir são apresentadas as equações para a determinação de $X_{Méd}$ e de CDC, seguindo a metodologia descrita em OLIVEIRA; VON SPERLING (2007, 2008).

O valor médio do constituinte, m_x , poderá ser obtido a partir da equação:

$$m_x = (CDC) X_s \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

m_x = concentração média do constituinte (mg/L);

X_s = meta de qualidade ou padrão fixado por alguma legislação ou norma (mg/L);

CDC = coeficiente de confiabilidade.

O coeficiente de confiabilidade (CDC) é calculado a partir da seguinte equação (Oliveira, 2006):

$$CDC = \sqrt{CV^2 + 1} \times \exp \left[-Z_{1-\alpha} \sqrt{\ln(CV^2 + 1)} \right] \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

CV = coeficiente de variação (desvio padrão dividido pela média aritmética da distribuição existente).

$Z_{1-\alpha}$ = variável normal central reduzida correspondente à probabilidade de não excedência (1- α). Por exemplo, para o atendimento à meta em 90% do tempo ($\alpha = 0,10$), tem-se que $1-\alpha = 0,90$. O valor de Z é obtido de livros texto de estatística, ou usando função do Microsoft Excel®.

Pode-se ainda usar o conceito acima para se estimar o percentual de atendimento ao padrão ou meta. Rearranjando a equação (1) ($CDC = m_x/X_s$) e a equação (2), obtém-se o percentual esperado de atendimento a um padrão ou meta, conhecendo-se apenas a média aritmética dos dados m_x , o coeficiente de variação CV e a meta X_s .

$$Z_{1-\alpha} = - \frac{\ln \left[\frac{m_x}{X_s} \cdot \frac{1}{\sqrt{CV^2 + 1}} \right]}{\sqrt{\ln(CV^2 + 1)}} \quad \text{equação (3)}$$

$$\% \text{ atendimento} = 1 - \text{Dist.Normp.N} (Z_{1-\alpha}) \quad \text{equação (4)}$$

Onde:

% atendimento = percentual de atendimento ao padrão ou meta;

Dist.Normp.N = função distribuição normal padronizada do Microsoft Excel®.

Dessa forma, foram calculados os percentuais de atendimento esperado pela equação (3) para os parâmetros com metas estabelecidas, bem como o CDC para os níveis de confiabilidade 80, 90, 95 e 99% para todos os parâmetros estudados.

Utilização da capacidade instalada

A adequação à capacidade instalada foi avaliada a partir do ID calculado como a relação entre as vazões afluentes médias anuais observadas e a vazão de projeto da ETE. As vazões da ETE em estudo foram obtidas em frequência diária.

Análise da produção de lodo, do consumo de energia e de produtos químicos e dos custos operacionais

Os dados de volume de lodo produzido, consumo energético e produtos químicos e custos foram obtidos com frequência mensal. A informação da produção de lodo da ETE em estudo refere-se ao volume produzido mensalmente, em metros cúbicos (m^3 /mês). Os produtos químicos utilizados são: cal, polieletrólito aniônico, polieletrólito catiônico, sulfato de alumínio e cloreto férrico. O consumo dos três primeiros é medido em kg/mês enquanto dos outros dois em L/mês. Já o consumo energético é avaliado em função da potência consumida kWh/mês.

Todos os custos foram trazidos para a data base de janeiro de 2011 utilizando coeficientes de correção específicos para cada caso, sendo considerado o IGPM (Índice Geral de Preços do Mercado) para custos com produtos químicos, o INPC (Índice Nacional de Preços ao Consumidor) para custos com pessoal e demais custos (outros) e o reajuste tarifário da Companhia Energética de Brasília (CEB), para custos com energia elétrica.

Para todos os meses em que foram disponibilizados dados, foi calculado o custo total ajustado da unidade a partir do somatório dos custos reajustados de pessoal, energia elétrica, produtos químicos e outros (referentes aos demais custos, não analisados no presente estudo). Vale ressaltar, portanto, que calcular o custo total da unidade só foi possível para os meses em que foram apresentados os custos discriminados.

As análises de lodo, insumos e custos se deram a partir da estatística descritiva e dispersão, apresentadas em gráficos *box-whisker*. Além disso, calcularam-se também os IDs referentes às razões entre os valores citados e um metro cúbico de esgoto tratado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam os resultados de uma avaliação estatística descritiva das características do afluente e do efluente da ETE Norte e das eficiências de remoção, respectivamente, cobrindo o período de 2000 a 2011. Na Figura 2 encontram-se os resultados obtidos para os IDs referentes às porcentagens de atendimento às metas de concentrações efluente e eficiências de remoção, considerando o período analisado, o período seco e o chuvoso. A Figura 3 e a Figura 4 apresentam as porcentagens de atendimento anual às mesmas metas de concentrações efluente e eficiências de remoção, respectivamente. Vale ressaltar que não foi adotado um valor como meta de eficiência de remoção para o parâmetro nitrogênio amoniacal.

Observam-se os elevados percentuais de atendimento às metas estabelecidas, sendo todos os valores médios superiores a 60%. O atendimento às metas de nitrogênio é um pouco inferior às demais, alcançando o valor mínimo de 66% para atendimento à meta de eficiência de remoção no período seco. Isto se deve à opção da operação de se priorizar a remoção de fósforo, em virtude do controle de eutrofização em seu corpo receptor, o Lago Paranoá.

Pelo teste U de Mann-Whitney, observou-se não haver diferença significativa nos percentuais de atendimento às metas das concentrações em função da sazonalidade, com exceção apenas dos parâmetros NTK e N amoniacal, para os quais o referido percentual é inferior no período seco. Com relação à eficiência de remoção, foram identificadas diferenças significativas nos percentuais de atendimento às metas para as eficiências de remoção de NTK, inferior no período seco, e fósforo total, superior no mesmo período.

As séries temporais mostram que os percentuais de atendimento às metas anuais, tanto de concentrações efluente quanto de eficiências de remoção foram homogêneas ao longo do período analisado, com exceção apenas dos parâmetros NTK e N amoniacal. O menor percentual de atendimento a metas, 38%, ocorreu para a eficiência de remoção de NTK no ano de 2001.

Tabela 2: Estatísticas descritivas referentes às concentrações de constituintes do afluente e do efluente da ETE Norte.

da ETE Norte.

Estatística	Vazão (m³/d)	DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)	
		Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
Nº dados	3864	424	436	1603	1951	1597	1944
Média	40207	326	9	565	37	192	7
Mediana	40325	317	6	538	35	178	6
Mínimo	20927	108	0,2	4	4	9	0
Máximo	83056	741	48	1444	338	940	148
DP¹	6649	82	8	166	11	104	6
CV²	0,17	0,25	0,94	0,29	0,31	0,54	0,88

Estatística	NTK (mg/l)		N-Amon (mg/l)		P tot (mg/l)	
	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
Nº dados	1597	1950	3	1871	1599	1952
Média	48	8	7	5	6,7	0,3
Mediana	48	6	7	3	6,5	0,2
Mínimo	3	1	6	0,01	3,0	0,01
Máximo	99	39	8	31	17,4	11,0
DP¹	8	6	1	5	1,3	0,5
CV²	0,16	0,70	0,13	1,08	0,20	1,70

¹ DP: desvio-padrão; ² CV: coeficiente de variação.

Tabela 3: Estatísticas descritivas das eficiências de remoção da ETE Norte.

Estatística	DBO (%)	DQO (%)	SS (%)	NTK (%)	P tot (%)
Nº dados	413	1592	1585	1588	1586
Média	97,1	91,2	95,5	82,9	95,1
Mediana	98,0	93,1	96,5	87,1	97,2
Mínimo	69,4	-1165,9	26,0	-63,3	-53,8
Máximo	100,0	98,4	99,7	96,9	99,9
Coef. Var	0,03	0,44	0,04	0,16	0,09
Desv. padrão	3,1	40,2	4,1	13,0	8,3

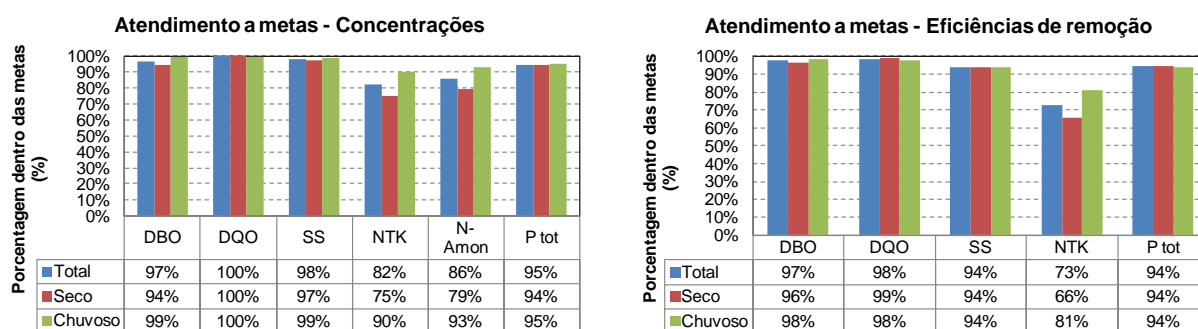


Figura 2: Resultados dos IDs referentes às porcentagens de atendimento às metas de concentrações efluentes e eficiências de remoção em função da sazonalidade.

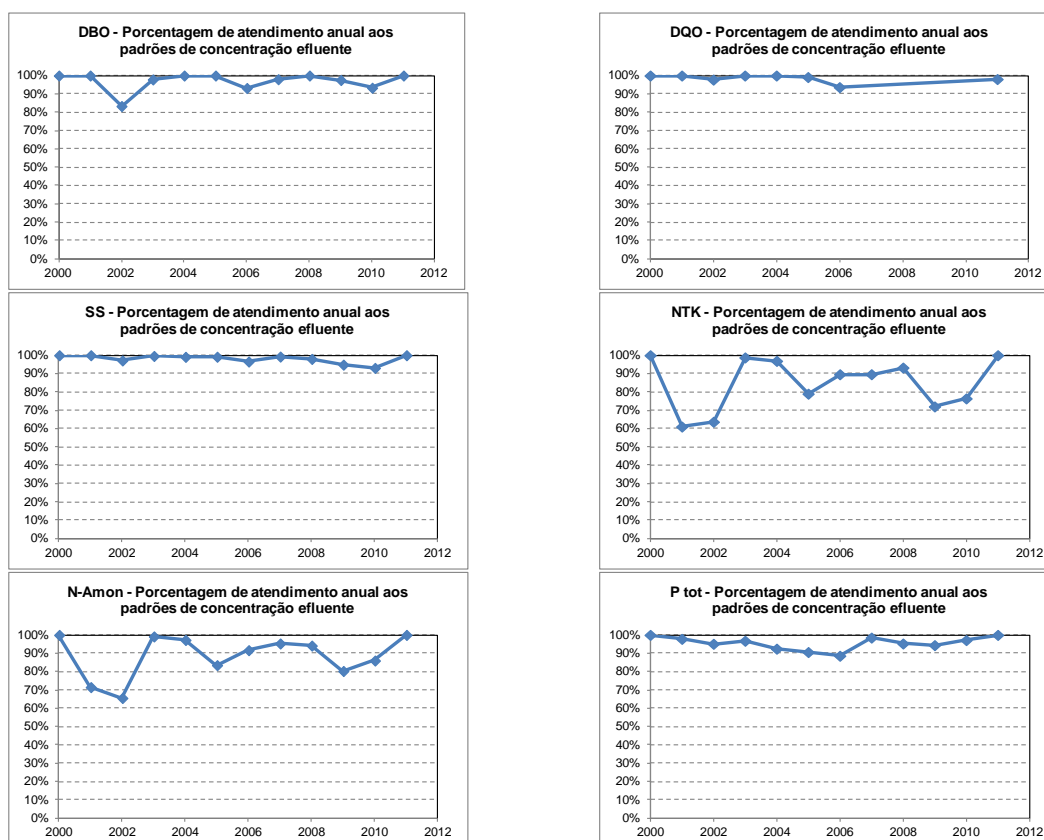


Figura 3: Porcentagem de atendimento anual às metas para a concentração efluente da ETE Norte.

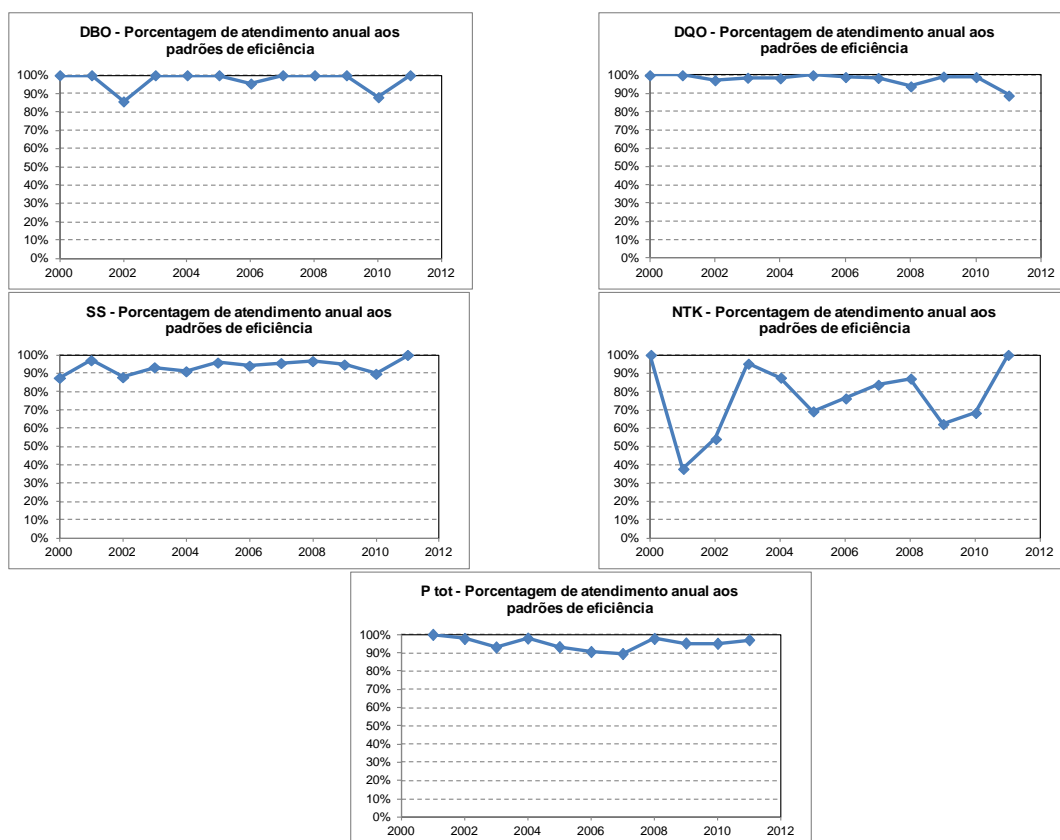


Figura 4: Porcentagem de atendimento anual às metas de eficiências de remoção da ETE Norte.

Com relação à análise de confiabilidade, a Figura 5 e a Figura 6 apresentam a porcentagem de atendimento esperado à meta do efluente e os coeficientes de confiabilidade para distintos níveis de confiabilidade por parâmetro, respectivamente. Os valores da Figura 5, calculados segundo a metodologia da análise de confiabilidade, são bastante próximos aos apresentados no gráfico de porcentagem do real atendimento às metas de concentrações efluentes da ETE Norte da Figura 2, indicando a aplicabilidade do conceito.

Os valores apresentados na Figura 6 representam o coeficiente de confiabilidade obtido para cada um dos parâmetros de qualidade usando a Equação 2. Desta forma, por exemplo, para se cumprir com a meta de 30 mg/L de DBO efluente em 90% do tempo, a estação deveria operar de maneira tal a produzir uma média da concentração efluente igual a $0,49 \times 30 = 15$ mg/L. Quanto maior a confiabilidade desejada, menor o coeficiente de confiabilidade resultante.

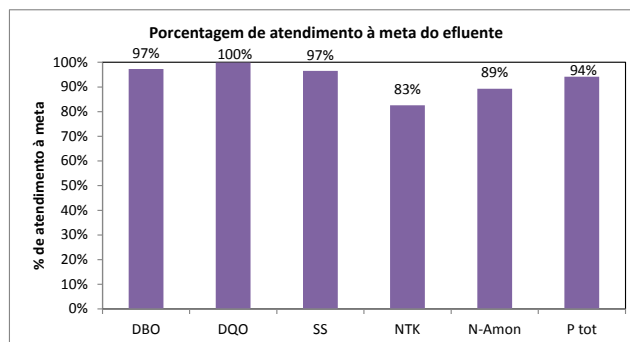


Figura 5: Porcentagem de atendimento esperado à meta de concentração efluente da ETE Norte.

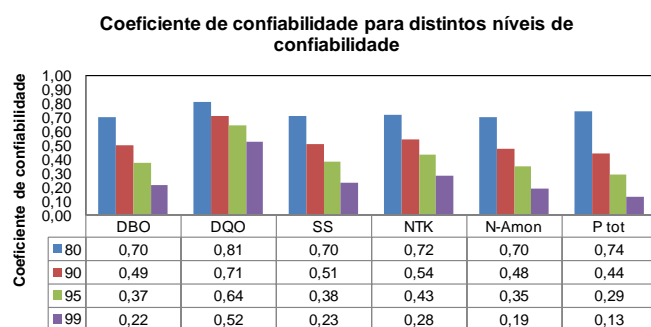


Figura 6: Coeficiente de confiabilidade para distintos níveis de confiabilidade.

A Figura 7 apresenta a relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto, considerando a ETE como um todo. Nota-se que a estação sempre trabalhou com grande folga no que diz respeito às cargas hidráulicas. No entanto, ao se avaliar as condições de carga de uma ETE, deve-se levar em consideração o número de unidades efetivamente em operação. Na ETE Norte, nem todas as unidades de tratamento são utilizadas, o que traz a necessidade de uma avaliação individualizada de cada etapa do tratamento. Nesta avaliação individualizada deve-se levar em consideração fatores de carga específicos, como idade do lodo e taxas de aplicação hidráulica e de sólidos, o que estava fora do escopo do presente trabalho. Ademais, deve-se levar em consideração ainda que a ETE Norte utiliza os tanques da antiga estação como equalização da vazão (ver Figura 1), o que impediu que fossem realizados by-passes de esgoto bruto ao corpo receptor em virtude de excedentes em eventos de chuva ou de interrupções no fornecimento de energia elétrica.

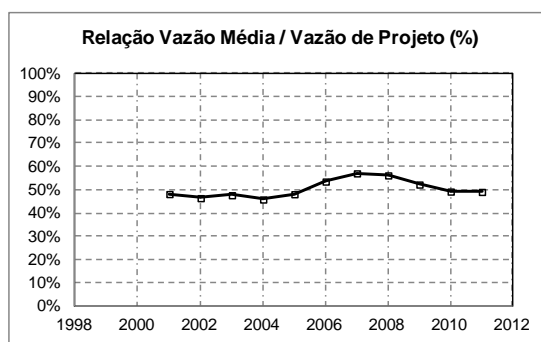


Figura 7: Resultados do ID relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto da ETE Norte.

As informações referentes à produção de lodo da ETE Norte são apresentadas na Tabela 4 a partir das estatísticas descritivas dos dados disponibilizados e do ID calculado pela relação entre a produção de lodo e a vazão média mensal. Além disso, as dispersões dos dados são apresentados na forma de gráfico *box-whisker*, na Figura 8.

Tabela 4: Estatística descritiva referente à relação produção de lodo/vazão média mensal na ETE Norte.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV ¹	DP ²
Lodo Produzido (m³/mês)	137	1798	1846	846	2794	0,23	407
Lodo Prod./Vazão média (m³lodo/m³esgoto)	125	0,0015	0,0015	0,0008	0,0022	5,3761	0,0003

¹ CV: coeficiente de variação; ² DP: desvio-padrão

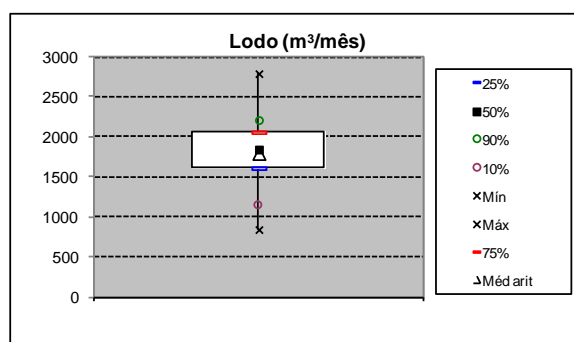


Figura 8: Média aritmética e dispersão do volume de lodo produzido mensalmente na ETE Norte.

O consumo de insumos foi avaliado partir das estatísticas descritivas, apresentadas na Tabela 5, e pelo ID calculado pela razão entre o consumo de insumos mensal e a vazão média mensal, conforme Tabela 6. Além disso, as dispersões dos dados foram analisados pelo gráfico *box-whisker* (Figura 9).

Tabela 5: Estatísticas descritivas referentes ao consumo de energia e produtos químicos na ETE Norte.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV ¹	DP ²
Potência Cons. (kWh/mês)	115	798.242	802845	959	12.360	0,08	61.732
Cal (kg/mês)	114	7.495	7150	153	332.775	0,30	2.278
Sulfato de Alumínio (L/mês)	113	169.069	176700	270	1.200	0,46	78.088
Poli aniônico (kg/mês)	78	544	482,5	730	2.515	0,40	217
Poli catiônico (kg/mês)	78	1.683	1690	10.136	170.926	0,20	344
Cloreto férrico (kg/mês)	49	32.159	17570	611.768	924.553	1,20	38.612

¹ CV: coeficiente de variação; ² DP: desvio-padrão

Tabela 6: Estatísticas descritivas referentes às relações de consumo de energia e de produtos químicos pela vazão na ETE Norte.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV ¹	DP ²
Potência Cons./Vazão média (kWh/m³ esgoto)	103	0,6494	0,6601	0,4606	0,8099	7,8792	0,08242
Cal/Vazão média (kg/m³ esgoto)	112	0,0061	0,0059	0,0021	0,0104	3,7765	0,0016
Sulfato Alumínio/Vazão média (L/m³ esgoto)	112	0,1379	0,1480	0,0001	0,2948	2,1040	0,0656
Poli aniônico/Vazão média (kg/m³ esgoto)	78	0,0004	0,0004	0,0002	0,0010	2,3879	0,0002
Poli catiônico/Vazão média (kg/m³ esgoto)	78	0,0013	0,0014	0,0006	0,0020	4,7982	0,0003
Cloreto férrico/Vazão média (kg/m³ esgoto)	49	0,0249	0,0146	0,0085	0,1160	0,9326	0,0267

¹ CV: coeficiente de variação; ² DP: desvio-padrão

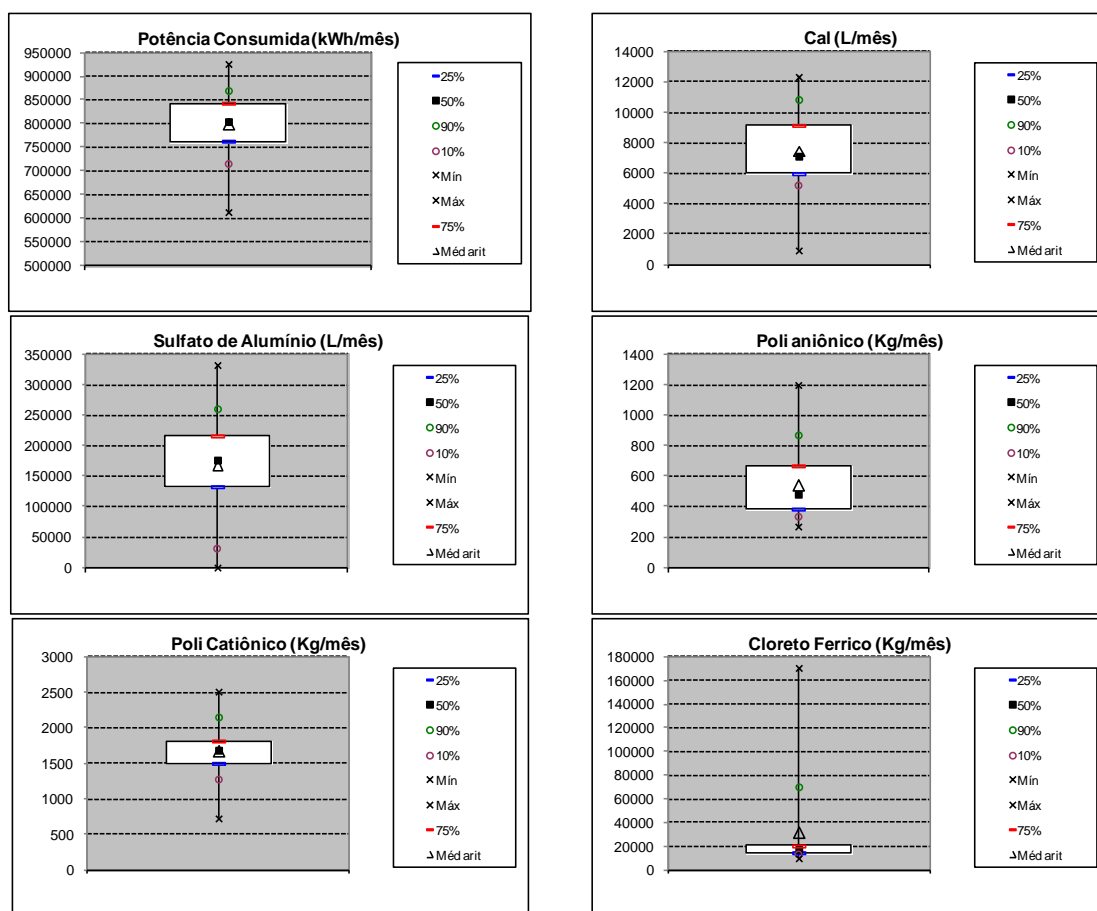


Figura 9: Média aritmética e percentis do consumo mensal de energia e produtos químicos na ETE Norte.

A Tabela 7 e a Tabela 8 mostram as estatísticas descritivas dos custos mensais e dos IDs calculados pela relação entre cada custo analisado e a vazão média mensal, respectivamente. Na Figura 10 encontram-se os gráficos *box-whisker* representando a dispersão dos custos mensais.

Tabela 7: Estatísticas descritivas referentes aos custos da ETE Norte.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV ¹	DP ²
Pessoal (R\$/mês)	84	313.432	329.688	179.076	523.974	0,27	86.008
Energia Elétrica (R\$/mês)	108	193.425	191.408	122.530	289.139	0,18	35.063
Produtos Químicos (R\$/mês)	84	170.226	165.167	23.031	333.326	0,36	61.858
Custo Total da Unidade (R\$/mês)	84	1.192.494	1.193.252	928.139	1.792.122	0,12	147.124

¹ CV: coeficiente de variação; ² DP: desvio-padrão

Tabela 8: Estatísticas descritivas referentes às relações dos custos pela vazão média mensal da ETE Norte.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV ¹	DP ²
Pessoal/Vazão média (R\$/m ³ esgoto)	83	0,25	0,24	0,14	0,41	3,22	0,08
Energia Elétrica/Vazão média (R\$/ m ³ esgoto)	96	0,16	0,16	0,12	0,25	5,67	0,03
Produtos Químicos/Vazão média (R\$/ m ³ esgoto)	83	0,13	0,13	0,02	0,29	2,72	0,05
Custo da Unidade/Vazão média (R\$/ m ³ esgoto)	83	0,95	0,93	0,72	1,45	6,54	0,15

¹ CV: coeficiente de variação; ² DP: desvio-padrão

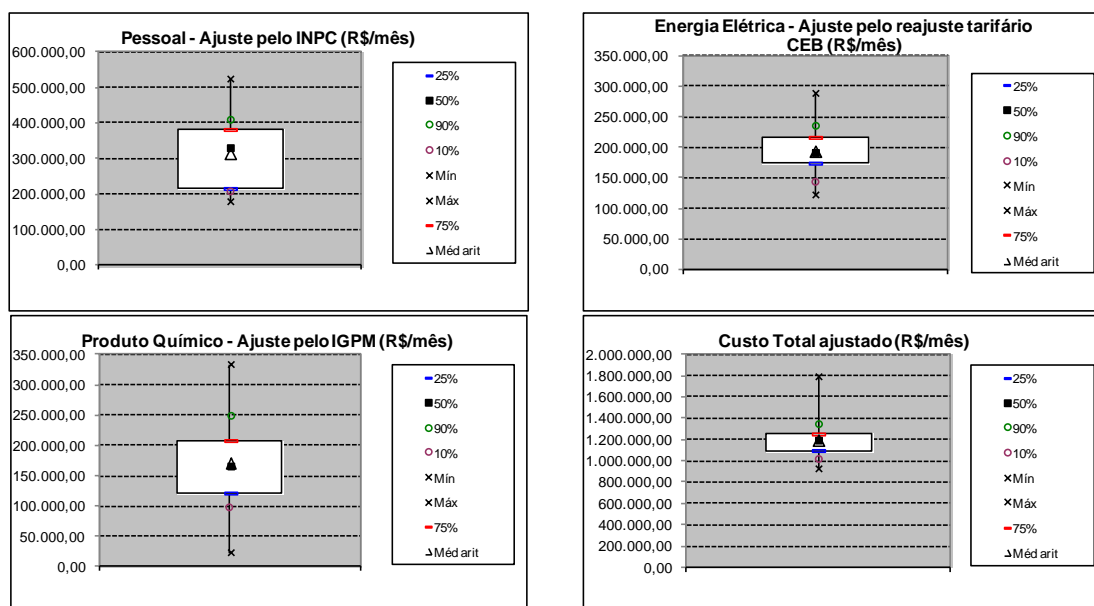


Figura 10: Média aritmética e percentis dos custos da ETE Norte.

A Figura 11 mostra a distribuição dos custos médios entre pessoal, energia elétrica, produtos químicos e outros. Dentre os três principais, notam-se percentuais próximos, porém, a fração do custo pessoal se sobressai, alcançando 26%.

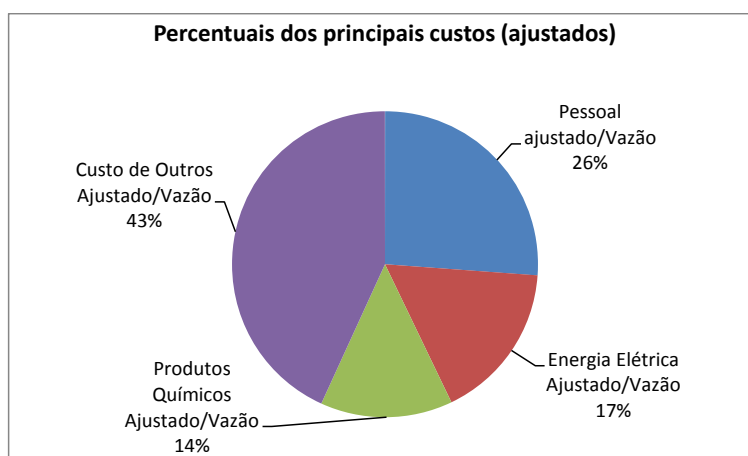


Figura 11: Distribuição dos custos operacionais médios da ETE Norte.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos conclui-se que a ETE Norte apresenta bons percentuais de atendimento às metas estabelecidas no presente trabalho, tanto para as concentrações efluentes, quanto para as eficiências de remoção. Vale ressaltar que a análise de confiabilidade auxiliou na verificação da viabilidade das metas adotadas.

A influência da sazonalidade (período seco x período chuvoso) ocorre para o percentual de atendimento de poucas metas, apenas para as concentrações efluentes de NTK e N amoniacal, sendo inferior no período seco, e para as eficiências de remoção de NTK e fósforo total, sendo o primeiro inferior no período seco e o segundo superior no mesmo período.

O ID referente à avaliação da utilização da capacidade instalada indicou que a ETE, como um todo, operou em subcarga hidráulica. No entanto, deve ser feita uma análise individualizada de cada etapa, uma vez que nem todos os tanques e reatores são utilizados.

Os valores obtidos para os IDs referentes à produção de lodo, consumo de energia e produtos químicos são elevados, como era esperado por esta ser uma ETE avançada e com amplos objetivos de tratamento. Dentre os custos discriminados, nota-se que o mais elevado é o referente ao custo com pessoal. Tais IDs são importantes referenciais para comparação com outras estações de tratamento de esgotos, mas deve-se ter sempre em mente a especificidade do processo empregado (no presente caso, lodos ativados com remoção biológica e físico-química de nutrientes).

Dessa forma, pelo presente estudo, foi possível avaliar a aplicabilidade de um método baseado em indicadores de desempenho e análise de confiabilidade para a avaliação de desempenho global de uma estação de tratamento de esgotos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BROSTEL, R. C.; NEDER, K. D.; SOUZA, M. A. A. Análise comparativa do desempenho de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001. João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABES, 2001.
2. CAESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. *SIESG – Sinopse do sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal*. 24 ed. Distrito Federal, 2011.
3. ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Activities relating to drinking water and wastewater services – Guidelines for the management of wastewater utilities and for the assesment of wastewater services*. ISO 24511. Genebra, 2007.
4. MATOS, R.; CARDOSO, A.; ASHLEY, R.; DUARTE, P.; MOLINARI, A.; SCHULZ, A. *Performance indicators for wastewater services*. Londres: IWA Publishing, 2003. 192 p.
5. SILVA, A. C.; BASILIO SOBRINHO, G. Regulação dos serviços de água e esgoto. In: GALVÃO JUNIOR, A. C.; SILVA, A. C. *Regulação: indicadores para prestação de serviços de água e esgoto*. Fortaleza: Expressão Gráfica Ltda. ARCE, 2006. p. 145-159.
6. OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Análise da confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 389-398, 2007.
7. OLIVEIRA, S. C. & VON SPERLING, M. – Reliability analysis of wastewater treatment plants. *Water Research*, v.42, p.1182-1194, 2008.