

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

PROPOSTA DE UM SISTEMA DE
INDICADORES DE DESEMPENHO PARA
AValiação DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO
DE ESGOTOS DO DISTRITO FEDERAL

Izabela Pinheiro Alves Felipe Barros

Belo Horizonte

2013

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
DESEMPENHO PARA AVALIAÇÃO DE ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO DISTRITO
FEDERAL**

Izabela Pinheiro Alves Felipe Barros

Izabela Pinheiro Alves Felipe Barros

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
DESEMPENHO PARA AVALIAÇÃO DE ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO DISTRITO
FEDERAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Tratamento de águas residuárias

Orientador: Marcos von Sperling

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2013

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marcos, pela dedicação como orientador, sempre presente e disposto. Pelos conhecimentos e experiências repassadas, exemplos e conselhos dados, mesmo despercebidamente, que engrandeceram minha formação acadêmica e pessoal.

Aos professores Marcelo e Sílvia, por todas as contribuições, sempre interessantes e construtivas, além do ótimo convívio, apoio e transmissão de conhecimentos.

Ao professor Marco Antônio e ao Reuel, pelas contribuições e apoio.

Às equipes da Adasa e Caesb envolvidas no projeto, por possibilitarem o desenvolvimento da pesquisa e compartilharem informações, conhecimentos e experiências.

Ao Misael e à Lívia Melo, ótimos companheiros de projeto, pelas trocas de experiências, espírito de equipe e amizade.

Aos bolsistas Lucas Queiroga e Lucas Marques, sempre prestativos, pelo apoio e dedicação às atividades repassadas.

À Lívia Lobato e Ana Laura, queridas amigas com as quais contei diversas vezes, pela disposição, ajuda e carinho.

Aos demais professores, colegas e funcionários do mestrado, por todo o incentivo e apoio nesta caminhada.

Ao querido Juan, pela motivação em encarar novos desafios, tanto por palavras quanto por exemplos. Por sempre poder contar com seu companheirismo, dedicação e carinho.

Aos meus queridos pais e irmão, pilares nos quais me apoio sempre, pela presença, incentivo, exemplos e amor.

Aos meus familiares, principalmente meus avós, por acompanharem meus passos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O presente estudo propõe um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos (ETEs), tendo como estudo de caso estações localizadas no Distrito Federal, sob a perspectiva da regulação. Para se analisar a aplicabilidade do sistema desenvolvido, denominado SISTEMA ID-ETE, o mesmo foi utilizado para avaliação de três estações de tratamento de esgotos da referida região.

De modo a subsidiar o desenvolvimento do sistema de indicadores, realizou-se, primeiramente, uma análise do desempenho das três estações de tratamento selecionadas como objetos da presente pesquisa – Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião – a partir de ferramentas estatísticas e levantamento das características e condições de operação das estações em visita técnica. As referidas estações foram selecionadas por apresentarem portes e processos de tratamento distintos.

O levantamento de indicadores de desempenho de estações de tratamento de esgotos registrados na literatura abrangeu sistemas de 16 organizações de saneamento, tanto nacionais quanto internacionais, sendo apenas 4 sistemas específicos para avaliação das referidas estruturas. Em um total de 713 indicadores, foram identificados 275 específicos para ETEs. Ao se excluir os coincidentes, obtiveram-se 163 indicadores de tipos distintos.

Ao se analisar os indicadores selecionados sob a ótica da regulação, associando-os a 5 objetivos e 10 critérios de avaliação identificados previamente, foram selecionados e adaptados 39 indicadores de desempenho. Além dos referidos indicadores, fatores de contexto e uma classificação da qualidade dos dados também constituem o SISTEMA ID-ETE.

A aplicação do sistema mostrou que apenas 28 indicadores poderiam ser calculados no âmbito do presente estudo. Pelos resultados, constatou-se que o SISTEMA ID-ETE é capaz de avaliar adequadamente estações de tratamento de esgotos de portes e processos distintos, bem como analisar comparativamente as referidas estruturas.

ABSTRACT

This study proposes a performance indicators system to assess municipal waste water treatment plants (WWTP), taking as a case study plants located in the Federal District, Brazil, from the perspective of regulation. To examine the applicability of the developed system, called SISTEMA ID-ETE, it was used for evaluation of three waste water treatment plants from that region, representing different sizes and processes treatment.

In order to subsidize the development of the indicators system, was carried, first, a performance analysis of three treatment plants selected as research's objects – Brasília Norte, Samambaia and São Sebastião – using statistics tools and survey of plants features and operating conditions in technical visit. These plants were selected because they have different sizes and treatment processes.

The survey of performance indicators of waste water treatment plants reported in the literature covered 16 sanitation, national and international, organizations with only 4 specific for evaluation of these structures. In a total of 713 indicators, 276 specific to WWTP were identified. When excluded the coincidents, were obtained of different types 163 indicators.

When analyzing the selected indicators from the perspective of regulation, associating them with 5 goals and 10 previously identified evaluation criteria, 39 performance indicators were selected and adapted. In addition to these indicators, context factors and a classification of data quality are also in the SISTEMA ID-ETE.

The application of the system showed that only 28 indicators could be calculated under the present study. The results showed that the SISTEMA ID-ETE is able to evaluate accordingly waste water treatment plants of different sizes and processes and also analyze comparatively these structures.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XIV
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	7
3.1 INDICADORES DE DESEMPENHO NOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO.....	7
3.1.1 <i>International Organization for Standardization (ISO)</i>	9
3.1.2 <i>International Water Association (IWA)</i>	14
3.1.3 <i>Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal (ERSAR)</i>	20
3.1.4 <i>Associação Brasileira das Agências Reguladoras (ABAR)</i>	21
3.2 INDICADORES DE DESEMPENHO PARA AVALIAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	23
3.2.1 <i>Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (LNEC)</i>	23
3.2.2 <i>Swedish Water & Wastewater Association (SWWA)</i>	26
3.2.3 <i>Austrian Water and Waste Association</i>	28
3.2.4 <i>Uma proposta da Universidade de Brasília (UnB) para avaliação do desempenho de ETEs do Distrito Federal</i>	32
3.3 METAS PARA AVALIAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	33
4 METODOLOGIA.....	36
4.1 LEVANTAMENTO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO EXISTENTES.....	36
4.2 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO DISTRITO FEDERAL.....	37
4.2.1 <i>Seleção das ETEs, caracterização e visita técnica</i>	37
4.2.2 <i>Análise dos dados de concentrações e eficiência de remoção</i>	38
4.2.3 <i>Determinação das metas de qualidade e avaliação do atendimento</i>	39
4.2.4 <i>Análise de confiabilidade dos processos de tratamento</i>	39
4.2.5 <i>Verificação da utilização da capacidade instalada</i>	41
4.2.6 <i>Avaliação da implantação de melhorias</i>	41
4.2.7 <i>Avaliação da produção de lodo, consumo de energia e produtos químicos e custos</i>	42
4.3 DEFINIÇÃO DAS INFORMAÇÕES INICIAIS DO SISTEMA ID-EETE.....	43
4.4 SELEÇÃO E DESENVOLVIMENTO DOS IDS.....	43
4.5 COMPONENTES COMPLEMENTARES DO SISTEMA ID-EETE.....	44
4.5.1 <i>Fatores de contexto</i>	44
4.5.2 <i>Classificação da qualidade dos dados</i>	45
4.6 APLICAÇÃO.....	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO DISTRITO FEDERAL.....	46
5.1.1 <i>ETE Brasília Norte</i>	46
5.1.2 <i>ETE Samambaia</i>	78
5.1.3 <i>ETE São Sebastião</i>	108
5.1.4 <i>Análise comparativa conjunta das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião</i>	129
5.2 LEVANTAMENTO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO EXISTENTES NA LITERATURA.....	135
5.3 DEFINIÇÃO DAS INFORMAÇÕES INICIAIS DO SISTEMA ID-EETE.....	136
5.4 SELEÇÃO E DESENVOLVIMENTO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO.....	137
5.4.1 <i>OBJETIVO 01: Proteção dos corpos de água</i>	143

5.4.2	<i>OBJETIVO 2: Sustentabilidade ambiental</i>	148
5.4.3	<i>OBJETIVO 3: Sustentabilidade da infraestrutura</i>	150
5.4.4	<i>OBJETIVO 4: Sustentabilidade econômica</i>	151
5.4.5	<i>OBJETIVO 5: Relacionamento com a comunidade</i>	152
5.5	COMPONENTES COMPLEMENTARES DO SISTEMA ID-ETE	152
5.5.1	<i>Fatores de contexto</i>	152
5.5.2	<i>Classificação da qualidade os dados</i>	153
5.6	APLICAÇÃO DO SISTEMA ID-ETE	153
5.6.1	<i>Fatores de contexto</i>	154
5.6.2	<i>Classificação da qualidade dos dados</i>	154
5.6.3	<i>Cálculo dos indicadores de desempenho</i>	155
6	CONCLUSÕES	192
7	RECOMENDAÇÕES	194
	REFERÊNCIAS	195
	APÊNDICE	198

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Síntese do conteúdo e da aplicação da norma ISO 24500.	10
Figura 3.2 - Exemplo de relações entre partes interessadas para estabelecimento dos objetivos, critérios de avaliação do serviço e indicadores de desempenho.	11
Figura 4.1 – Fluxograma de apresentação dos procedimentos metodológicos.	36
Figura 5.1 – Fluxograma da ETE Brasília Norte.	49
Figura 5.2 – Estruturas da ETE Brasília Norte – Visita técnica.	49
Figura 5.3 – Concentrações mínima, máxima, média aritmética e percentis do afluente e efluente da ETE Brasília Norte comparadas às metas de concentração efluente.	52
Figura 5.4 – Séries temporais das características do afluente e efluente da ETE Brasília Norte.	53
Figura 5.5 – Concentrações médias das características do afluente e efluente da ETE Brasília Norte em função da sazonalidade.	54
Figura 5.6 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas características do efluente e vazão da ETE Brasília Norte.	55
Figura 5.7 – Eficiências mínima, máxima e percentis do afluente e efluente da ETE Brasília Norte comparadas às metas de eficiência.	57
Figura 5.8 – Séries temporais das eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.	57
Figura 5.9 – Eficiências médias da ETE Brasília Norte em função da sazonalidade.	58
Figura 5.10 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.	58
Figura 5.11 – Porcentagem de atendimento das concentrações do efluente da ETE Brasília Norte às metas em função da sazonalidade.	60
Figura 5.12 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de concentração pela ETE Brasília Norte.	61
Figura 5.13 – Porcentagem de atendimento anual às metas para a concentração efluente da ETE Brasília Norte.	62
Figura 5.14 – Porcentagem de atendimento das eficiências de remoção da ETE Brasília Norte às metas em função da sazonalidade.	63
Figura 5.15 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de eficiência pela ETE Brasília Norte.	64
Figura 5.16 – Porcentagem de atendimento anual às metas de eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.	65
Figura 5.17 – Porcentagem de atendimento esperado à meta do efluente da ETE Brasília Norte.	66
Figura 5.18 – Coeficiente de confiabilidade para distintos níveis de confiabilidade.	66
Figura 5.19 – Relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto da ETE Brasília Norte.	67
Figura 5.20 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo nas características do efluente da ETE Brasília Norte.	69
Figura 5.21 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo da ETE Brasília Norte no atendimento às metas de concentração efluente.	70
Figura 5.22 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo nas eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.	72

Figura 5.23 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo da ETE Brasília Norte no atendimento às metas de eficiência de remoção.....	73
Figura 5.24 – Série temporal e <i>box-whisker</i> da produção de lodo na ETE Brasília Norte.....	74
Figura 5.25 – Série temporal e <i>box-whisker</i> da potência consumida na ETE Brasília Norte.....	75
Figura 5.26 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do consumo de cal na ETE Brasília Norte.	75
Figura 5.27 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do consumo de sulfato de alumínio na ETE Brasília Norte.	75
Figura 5.28 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do consumo de poli aniônico na ETE Brasília Norte. ..	75
Figura 5.29 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do consumo de poli catiônico na ETE Brasília Norte...	76
Figura 5.30 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do consumo de cloreto férrico na ETE Brasília Norte..	76
Figura 5.31 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo com pessoal na ETE Brasília Norte.....	77
Figura 5.32 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo com energia elétrica na ETE Brasília Norte. .	77
Figura 5.33 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo com produto químico na ETE Brasília Norte.	77
Figura 5.34 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo total na ETE Brasília Norte.....	77
Figura 5.35 – Fluxograma da ETE Samambaia.....	80
Figura 5.36 – Estruturas da ETE Samambaia – Visita técnica.....	80
Figura 5.37 – Concentrações mínima, máxima, média aritmética e percentis do afluente e efluente da ETE Samambaia comparadas às metas de concentração efluente.....	83
Figura 5.38 – Séries temporais das características do afluente e efluente da ETE Samambaia.....	84
Figura 5.39 – Concentrações médias das características do afluente e efluente da ETE Samambaia em função da sazonalidade.....	85
Figura 5.40 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas características do efluente e vazão da ETE Samambaia.	86
Figura 5.41 – Eficiências mínima, máxima e percentis de percentual de remoção de cada parâmetro da ETE Samambaia comparadas às metas de eficiência.....	88
Figura 5.42 – Séries temporais das eficiências de remoção da ETE Samambaia.....	89
Figura 5.43 – Eficiências médias da ETE Samambaia em função da sazonalidade.	89
Figura 5.44 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas eficiências de remoção da ETE Samambaia.	90
Figura 5.45 – Porcentagem de atendimento das concentrações do efluente da ETE Samambaia às metas em função da sazonalidade.....	91
Figura 5.46 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de concentração pela ETE Samambaia.....	92
Figura 5.47 – Porcentagem de atendimento anual às metas para a concentração efluente da ETE Samambaia.	93
Figura 5.48 – Porcentagem de atendimento das eficiências de remoção da ETE Samambaia às metas em função da sazonalidade.....	94
Figura 5.49 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de eficiência pela ETE Samambaia.	95
Figura 5.50 – Porcentagem de atendimento anual às metas de eficiências de remoção da ETE Samambaia.....	96
Figura 5.51 – Porcentagem de atendimento esperado à meta do efluente da ETE Samambaia.	97
Figura 5.52 – Coeficiente de confiabilidade para distintos níveis de confiabilidade.....	97

Figura 5.53 – Relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto da ETE Samambaia.....	98
Figura 5.54 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo nas características do efluente da ETE Samambaia.....	100
Figura 5.55 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo da ETE Samambaia no atendimento às metas de concentração pelo efluente.	101
Figura 5.56 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo nas eficiências de remoção da ETE Samambaia.....	103
Figura 5.57 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo da ETE Samambaia no atendimento às metas de eficiência de remoção.	104
Figura 5.58 – Série temporal e <i>box-whisker</i> da potência consumida na ETE Samambaia	105
Figura 5.59 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do consumo de sulfato de alumínio na ETE Samambaia.	106
Figura 5.60 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do consumo de polieletrólito catiônico na ETE Samambaia.	106
Figura 5.61 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do consumo de cloreto férrico na ETE Samambaia. .	106
Figura 5.62 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo com pessoal na ETE Samambaia.	107
Figura 5.63 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo com energia elétrica na ETE Samambaia...	107
Figura 5.64 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo com produto químico na ETE Samambaia.	107
Figura 5.65 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo total na ETE Samambaia.	108
Figura 5.66 – Fluxograma da ETE São Sebastião.	109
Figura 5.67 – Estruturas da ETE São Sebastião – Visita técnica.....	110
Figura 5.68 – Concentrações mínima, máxima, média aritmética e percentis do afluente e efluente da ETE São Sebastião comparadas às metas de concentração efluente.....	112
Figura 5.69 – Séries temporais das características do afluente e efluente da ETE São Sebastião.	113
Figura 5.70 – Concentrações médias das características do afluente e efluente da ETE São Sebastião em função da sazonalidade.	114
Figura 5.71 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas características do efluente e vazão da ETE São Sebastião.	115
Figura 5.72 – Eficiências mínima, máxima e percentis de percentual de remoção de cada parâmetro da ETE São Sebastião comparadas às metas de eficiência.	117
Figura 5.73 – Séries temporais das eficiências de remoção da ETE São Sebastião.....	118
Figura 5.74 – Eficiências médias da ETE São Sebastião em função da sazonalidade.	118
Figura 5.75 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas eficiências de remoção da ETE São Sebastião.	119
Figura 5.76 – Porcentagem de atendimento das concentrações do efluente da ETE São Sebastião às metas em função da sazonalidade.	120
Figura 5.77 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de concentração pela ETE São Sebastião.	121
Figura 5.78 – Porcentagem de atendimento anual às metas para a concentração efluente da ETE São Sebastião.	121
Figura 5.79 – Porcentagem de atendimento das eficiências de remoção da ETE São Sebastião às metas em função da sazonalidade.....	122
Figura 5.80 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de eficiência pela ETE São Sebastião.	123

Figura 5.81 – Porcentagem de atendimento anual às metas de eficiências de remoção da ETE São Sebastião.	123
Figura 5.82 – Porcentagem de atendimento esperado à meta do efluente da ETE São Sebastião.	124
Figura 5.83 – Coeficiente de confiabilidade para distintos níveis de confiabilidade.	125
Figura 5.84 – Relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto da ETE São Sebastião.	125
Figura 5.85 – Série temporal e <i>box-whisker</i> da produção de lodo na ETE São Sebastião.	126
Figura 5.86 – Série temporal e <i>box-whisker</i> da potência consumida na ETE São Sebastião.	127
Figura 5.87 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do consumo de cal na ETE São Sebastião.	127
Figura 5.88 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo com pessoal na ETE São Sebastião.	128
Figura 5.89 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo com energia elétrica na ETE São Sebastião.	128
Figura 5.90 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo com produto químico na ETE São Sebastião.	128
Figura 5.91 – Série temporal e <i>box-whisker</i> do custo total na ETE São Sebastião.	128
Figura 5.92 – Concentrações mínima, máxima, média aritmética, percentis e metas dos efluentes das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.	131
Figura 5.93 – Valores mínimos e máximos e percentis das eficiências de remoção das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.	132
Figura 5.94 – Relação entre produção de lodo e vazão média das ETEs Brasília Norte e São Sebastião.	133
Figura 5.95 – Relação entre consumo de energia e de produtos químicos e vazão média das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.	133
Figura 5.96 – Relação entre custos e vazão média das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.	134
Figura 5.97 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério controle do monitoramento - ETE Brasília Norte.	160
Figura 5.98 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério eficiência de remoção - ETE Brasília Norte.	161
Figura 5.99 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (concentração efluente) - ETE Brasília Norte.	162
Figura 5.100 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (eficiência de remoção) - ETE Brasília Norte.	163
Figura 5.101 – Série temporal do ID calculado do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (efetividade) - ETE Brasília Norte.	164
Figura 5.102 – Série temporal dos IDs calculado do objetivo sustentabilidade ambiental - ETE Brasília Norte.	164
Figura 5.103 – Série temporal do ID calculado do objetivo sustentabilidade da infraestrutura - ETE Brasília Norte.	165
Figura 5.104 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade econômica - ETE Brasília Norte.	166
Figura 5.105 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério controle do monitoramento - ETE Samambaia.	170
Figura 5.106 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério eficiência de remoção - ETE Samambaia.	171
Figura 5.107 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (concentrações efluentes) - ETE Samambaia.	172
Figura 5.108 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (eficiências de remoção) - ETE Samambaia.	173

Figura 5.109 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade ambiental - ETE Samambaia.	174
Figura 5.110 – Série temporal do ID calculado do objetivo sustentabilidade da infraestrutura - ETE Samambaia.	174
Figura 5.111 – Série temporal do ID calculado do objetivo sustentabilidade econômica - ETE Samambaia.	175
Figura 5.112 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério controle do monitoramento - ETE São Sebastião.....	179
Figura 5.113 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério eficiência de remoção - ETE São Sebastião.	180
Figura 5.114 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (concentrações efluentes) - ETE São Sebastião.....	181
Figura 5.115 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (eficiências de remoção) - ETE São Sebastião.	182
Figura 5.116 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (efetividade) - ETE São Sebastião.....	182
Figura 5.117 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade ambiental - ETE São Sebastião.	183
Figura 5.118 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade da infraestrutura - ETE São Sebastião.	184
Figura 5.119 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade da econômica - ETE São Sebastião.	185

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Características básicas de um bom indicador de desempenho.	8
Tabela 3.2 – Quantitativo de IDs de sistemas de diversas organizações de saneamento.	9
Tabela 3.3 – Exemplos de critérios de avaliação e IDs de serviços de esgotamento sanitário propostos pela ISO 24511	12
Tabela 3.4 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão recursos humanos.	15
Tabela 3.5 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão operação.	16
Tabela 3.6 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão meio ambiente.	17
Tabela 3.7 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão infraestrutura.	17
Tabela 3.8 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão qualidade do serviço.	18
Tabela 3.9 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão econômico-financeira.	19
Tabela 3.10 – Indicadores de desempenho utilizados pela ERSAR (em itálico os IDs que podem se relacionar ao tratamento).	21
Tabela 3.11 – ID de esgotamento sanitário propostos pela oficina realizada pela ABAR (em itálico os IDs que podem se relacionar ao tratamento).	22
Tabela 3.12 – Exemplos de indicadores de desempenho de estações de tratamento de esgotos do projeto PAST21 do LNEC.	24
Tabela 3.13 – Tentativa de elaboração de um conjunto de indicadores de desempenho para a caracterização da operação de ETE	26
Tabela 3.14 – Indicadores de desempenho de estações de tratamento de esgotos adotados pelo sistema austríaco para avaliação da eficiência.	29
Tabela 3.15 - Indicadores de desempenho de estações de tratamento de esgotos adotados pelo sistema austríaco para avaliação da eficácia.	31
Tabela 3.16 – Indicadores adotados no Prodes e valores de referência.	34
Tabela 5.1 – Características das ETEs selecionadas.	46
Tabela 5.2 – Estatísticas descritivas referentes às concentrações de constituintes do afluente e do efluente da ETE Brasília Norte.	51
Tabela 5.3 – Estatísticas descritivas das eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.	56
Tabela 5.4 – Metas adotadas para avaliação de desempenho da ETE Brasília Norte.	59
Tabela 5.5 – Comparação das estatísticas descritivas e dos atendimentos às metas de concentrações efluente de antes e depois da melhoria no processo da ETE Brasília Norte.	68
Tabela 5.6 – Comparação das estatísticas descritivas e dos atendimentos às metas das eficiências de antes e depois da melhoria no processo da ETE Brasília Norte.	71
Tabela 5.7 – Estatística descritiva referente à produção de lodo na ETE Brasília Norte.	74
Tabela 5.8 – Estatísticas descritivas referentes ao consumo de energia e produtos químicos na ETE Brasília Norte.	74
Tabela 5.9 – Estatísticas descritivas referentes aos custos da ETE Brasília Norte.	76
Tabela 5.10 – Estatísticas descritivas referentes às concentrações de constituintes do afluente e do efluente da ETE Samambaia	82

Tabela 5.11 – Estatísticas descritivas referentes às eficiências de remoção da ETE Samambaia...	88
Tabela 5.12 – Metas adotadas para avaliação de desempenho da ETE Samambaia.	91
Tabela 5.13 – Comparação das estatísticas descritivas e dos atendimentos às metas de concentrações efluente de antes e depois da melhoria no processo da ETE Samambaia. .	99
Tabela 5.14 – Comparação das estatísticas descritivas e dos atendimentos às metas das eficiências de antes e depois da melhoria no processo da ETE Samambaia.	102
Tabela 5.15 – Estatísticas descritivas referentes ao consumo de energia e produtos químicos na ETE Samambaia.....	105
Tabela 5.16 – Estatísticas descritivas referentes aos custos da ETE Samambaia.	107
Tabela 5.17 – Estatísticas descritivas referentes às concentrações de constituintes do afluente e do efluente da ETE São Sebastião.	111
Tabela 5.18 – Estatísticas descritivas referentes às eficiências de remoção da ETE São Sebastião.	117
Tabela 5.19 – Metas adotadas para avaliação de desempenho da ETE São Sebastião.	120
Tabela 5.20 – Estatística descritiva referente à produção de lodo na ETE São Sebastião.	126
Tabela 5.21 – Estatísticas descritivas referentes ao consumo de energia e de cal na ETE São Sebastião.	126
Tabela 5.22 – Estatísticas descritivas referentes aos custos da ETE São Sebastião.	127
Tabela 5.23 – Metas adotadas para avaliação de desempenho das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.....	129
Tabela 5.24 – Comparação entre as concentrações médias dos constituintes dos efluentes e percentuais de atendimento às metas das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.	130
Tabela 5.25 – Comparação entre as eficiências de remoção médias e percentuais de atendimento às metas das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.....	132
Tabela 5.26 – Valores médios referentes às relações de produção de lodo, insumos e custos com a vazão média das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.	134
Tabela 5.27 – Número de IDs levantados na literatura de acordo com os critérios de avaliação de ETEs.	135
Tabela 5.28 – Objetivos e critérios adotados para avaliação de estações de tratamento de esgotos	136
Tabela 5.29 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério controle do monitoramento	138
Tabela 5.30 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério eficiência de remoção .	138
Tabela 5.31 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério controle de	139
Tabela 5.32 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério metas de lançamento .	139
Tabela 5.33 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério controle de resíduos e gases	139
Tabela 5.34 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério eficiência no uso de recursos	140
Tabela 5.35 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério adequação com a capacidade	140
Tabela 5.36 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério operação	140
Tabela 5.37 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério eficiência econômica .	141
Tabela 5.38 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério informações	141
Tabela 5.39 – IDs propostos para as ETEs.	142
Tabela 5.40 – Classificação da qualidade dos dados utilizados para cálculo dos IDs.	153

Tabela 5.41 – Identificação dos fatores de contexto distintos em cada ETE.....	154
Tabela 5.42 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo proteção dos corpos de água.....	156
Tabela 5.43 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo sustentabilidade ambiental.....	156
Tabela 5.44 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo sustentabilidade da infraestrutura.	156
Tabela 5.45 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo sustentabilidade econômica.....	157
Tabela 5.46 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo relacionamento adequado com a comunidade.	157
Tabela 5.47 – Estatística descritiva dos IDs da ETE Brasília Norte para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.	167
Tabela 5.48 – Percentis dos IDs da ETE Brasília Norte para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.....	168
Tabela 5.49 – Estatística descritiva dos IDs da ETE Samambaia para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.	176
Tabela 5.50 – Percentis dos IDs da ETE Samambaia para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.....	177
Tabela 5.51 – Estatística descritiva dos IDs da ETE São Sebastião para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.	186
Tabela 5.52 – Percentis dos IDs da ETE São Sebastião para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.....	187
Tabela 5.53 – Comparação entre resultados dos IDs para as ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.	191

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABAR	Associação Brasileira de Agências de Regulação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADERASA	Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable e Saneamiento de las Americas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ANA	Agência Nacional de Águas
APESB	Associação Portuguesa para Estudos de Saneamento Básico
APRH	Associação Portuguesa de Recursos Hídricos
AWWA	American Water Works Association
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CDC	Coeficiente de Confiabilidade
Colif. Term.	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
IBNET	International Benchmarking Network for Water and Sanitation Services
ID	Indicador de Desempenho
IRAR	Instituto de Regulação de Águas e Resíduos de Portugal
ISO	International Organization for Standardization
IWA	International Water Association
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
N-amon	Nitrogênio Amoniacal
NTK	Nitrogênio Total Kjeldhal
OFWAT	Office of Water Services
PNQS	Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento
PRODES	Programa de despoluição de bacias hidrográficas
P-tot	Fósforo Total
SIESG	Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal
SS	Sólidos Suspensos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SWWA	Swedish Water & Wastewater Association
WSAA	Water Services Association of Australia
kWh	Quilowatt-hora

1 INTRODUÇÃO

Os serviços prestados pelo setor de saneamento são essenciais para a promoção de bem-estar, saúde e segurança à população e proteção ao meio ambiente. Devido a isto, a prestação destes serviços deve ser pautada em princípios fundamentais como a universalização do acesso, a integralidade, a adoção de métodos que considerem as condições locais e regionais, a transparência das ações, a continuidade e qualidade dos serviços e a eficiência e equidade das tarifas aplicadas (BRASIL, 2007; ERSAR/LNEC, 2010).

A prestação dos serviços de saneamento ocorre atualmente, na maioria dos países, em condições de monopólio. A condição de privilégio exclusivo sobre a prestação de um determinado serviço, como ocorre no Brasil, pode desestimular as entidades públicas prestadoras a investirem em melhorias na eficiência das atividades, o que tende à elevação de custos, que possivelmente são repassados aos usuários mediante tarifas.

Em virtude dessa condição, a regulação do setor de saneamento apresenta importantes missões, como a proteção dos interesses dos usuários, o equilíbrio das tarifas praticadas e a garantia da transparência no acesso às informações.

No Brasil, as responsabilidades atribuídas às entidades reguladoras são apresentadas na Lei nº 11.445 de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Conforme a legislação citada, a regulação tem como objetivos estabelecer padrões e normas para a adequada prestação dos serviços e para a satisfação dos usuários, garantir o cumprimento das condições e metas estabelecidas, prevenir e reprimir o abuso do poder econômico e definir tarifas que assegurem tanto o equilíbrio econômico e financeiro dos contratos como a modicidade tarifária, mediante mecanismos que induzam a eficiência e eficácia dos serviços e que permitam a apropriação social dos ganhos de produtividade. Os artigos 21 e 23 da referida Lei estabelecem:

Art. 21. O exercício da função de regulação atenderá aos seguintes princípios:

I – independência decisória, incluindo autonomia administrativa, orçamentária e financeira da entidade reguladora;

II – transparência, tecnicidade, celeridade e objetividade das decisões.

Art. 23. A entidade reguladora editará normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços, que abrangerão, pelo menos, os seguintes aspectos:

I – padrões e indicadores de qualidade da prestação dos serviços;

II – requisitos operacionais e de manutenção dos sistemas;

III – as metas progressivas de expansão e de qualidade dos serviços e os respectivos prazos;

IV – regime, estrutura e níveis tarifários, bem como os procedimentos e prazos de sua fixação, reajuste e revisão;

V – medição, faturamento e cobrança de serviços;

VI – monitoramento dos custos;

VII - avaliação da eficiência e eficácia dos serviços prestados;

VIII - plano de contas e mecanismos de informação, auditoria e certificação;

IX - subsídios tarifários e não tarifários;

X – padrões de atendimento ao público e mecanismos de participação e informação;

XI - medidas de contingências e de emergências, inclusive racionamento (BRASIL, 2007).

Eis, portanto, um dos grandes desafios das entidades reguladoras dos serviços de esgotamento sanitário, a avaliação de estações de tratamento de esgotos (ETEs) de acordo com a Lei nº 11.445 de 2007. A maioria dos sistemas de avaliação de desempenho dos serviços de esgotamento sanitário está direcionada para uma perspectiva de gestão de saneamento e não se aplica especificamente a estações de tratamento (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, 2002). 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.

Atenta à tendência legal mencionada, a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa) firmou um convênio com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em conjunto com a Universidade de Brasília (UnB), para elaboração do projeto denominado Desenvolvimento de Metodologia para a Avaliação de Desempenho de Estações de Tratamento de Água e Esgotos no Distrito Federal. É neste projeto mais amplo que se encontra inserida a pesquisa aqui apresentada.

A Adasa foi criada em 2004 e tem como missão institucional a regulação dos usos das águas e dos serviços públicos do Distrito Federal, com intuito de promover a gestão sustentável dos recursos hídricos e a qualidade dos serviços de energia e saneamento básico, em benefício da sociedade. Cabe a ela, com base na lei 4.285/2008, a finalidade básica de (ADASA, 2012):

- Regular, controlar, fiscalizar, com poder de polícia, a qualidade e quantidade dos corpos de água, superficiais ou subterrâneos, fluentes, emergentes, contidos ou acumulados, de domínio distrital ou delegados pela União e Estados, bem como os serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Distrito Federal.
- Disciplinar, em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos das Políticas de Recursos Hídricos e de Saneamento do Distrito Federal.
- Garantir a qualidade dos serviços públicos de energia e saneamento básico.
- Buscar canais para relacionamento com usuários, consumidores e prestadoras de serviço.
- Promover a participação do cidadão no processo decisório.

Conforme IRAR (2008), a evolução histórica de um sistema de saneamento básico é marcada, geralmente, por três fases. A primeira delas é a fase de quantidade, na qual a prioridade é dada à implantação de infraestruturas. A segunda refere-se à fase de qualidade, em que as preocupações se concentram, por exemplo, na qualidade do efluente lançado no corpo hídrico receptor; enquanto a última fase, denominada fase de excelência, é aquela em que os esforços se centram na qualidade dos serviços prestados aos usuários, na sustentabilidade das prestadoras de serviços e na sustentabilidade ambiental.

Enquanto a maior parte dos serviços de esgotamento sanitário do País se encontra na primeira fase, verifica-se que o mesmo serviço no Distrito Federal já alcançou a fase denominada por IRAR (2008) como fase de excelência. Na referida localidade, os serviços de esgotamento sanitário se destacam por se apresentarem em uma condição mais avançada, se comparados aos demais no âmbito nacional. No ano de 2008, segundo a prestadora de serviços do Distrito Federal, o índice de atendimento à população com coleta de esgotos sanitários foi de 93,7%, enquanto o índice de tratamento dos esgotos coletados atingiu 100%. Ao se considerar todas as prestadoras de serviços de esgotamento sanitário nacionais participantes do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), verifica-se que, no mesmo ano, apenas 50,6% da população urbana era atendida por rede coletora de esgotos, sendo que somente 34,6% dos

esgotos gerados pela população atendida por estas prestadoras de serviços receberam tratamento (PMSS, 2009).

Atualmente, no Distrito Federal, existem 17 estações de tratamento de esgotos (ETEs), sendo que na maioria delas o tratamento encontra-se em nível secundário e em algumas em nível terciário. As diversas estações são constituídas por variados processos, como reatores anaeróbios de fluxo ascendente, lodos ativados, lagoas e escoamento superficial em solos. Os portes das estações também são bastante distintos, sendo que as capacidades médias de projeto variam entre 6 e 1.500 L/s (CAESB, 2008).

Dessa forma, a regulação de ETEs no Distrito Federal requer um sistema de avaliação capaz de ser utilizado para os mais diversificados processos e portes de tratamento. Uma ferramenta apta a auxiliar tais atividades é um sistema de indicadores de desempenho (IDs). 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.

Conforme Matos *et al.* (2004), para uma entidade reguladora, o uso de IDs pode ter as vantagens e aplicações que se enunciam a seguir:

- Obtenção de um quadro de referência consistente para a comparação do desempenho de entidades gestoras de sistemas de esgotos e para a identificação de áreas de atividade que necessitem de melhorias.
- Apoio à formulação de políticas para o setor, de preferência numa perspectiva de gestão integrada dos recursos hídricos, incluindo aspectos de proteção ambiental, de alocação de recursos, de investimentos e de desenvolvimento de novos instrumentos de regulação.
- Obtenção de informação-chave que contribua para a preservação dos interesses dos usuários a quem o serviço é prestado essencialmente em regime de monopólio, em particular para monitoramento do cumprimento de metas contratuais de nível de serviço.
- Verificação da adequação do desempenho ambiental através da comparação com valores de referência pré-estabelecidos.

Neste contexto, a utilização dos IDs se justifica pelos atributos que os mesmos são capazes de agregar a um sistema 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). Vale ressaltar que, em função do elevado índice de tratamento de esgotos no Distrito Federal, com uma quantidade representativa de ETEs e uma variedade de processos e portes das estações de tratamento, uma seleção de ETEs do Distrito Federal constitui um conjunto apropriado para desenvolvimento e aplicação de um sistema de indicadores de desempenho.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral da presente pesquisa é propor um sistema de indicadores de desempenho a ser utilizado por agências reguladoras na avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos.

2.2 *Objetivos específicos*

- Levantar os indicadores de desempenho referentes a estações de tratamento de esgotos utilizados por diversas organizações no âmbito nacional e internacional.
- Analisar o desempenho individual de três estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal, com processos de tratamento e portes distintos, utilizando ferramentas estatísticas.
- Determinar quais deverão ser os objetivos e critérios relevantes para avaliação de estações de tratamento de esgotos por uma agência reguladora.
- Propor indicadores de desempenho que devam ser considerados na regulação de estações de tratamento de esgotos.
- Aplicar os indicadores de desempenho propostos para as três estações de tratamento de esgotos selecionadas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura inicia-se com a descrição de conceitos e utilizações de indicadores de desempenho em serviços de saneamento relevantes para o presente estudo e segue com a apresentação de sistemas de indicadores de desempenho específicos para avaliação de estações de tratamento de esgotos.

3.1 *Indicadores de desempenho nos serviços de saneamento*

No setor de saneamento, um indicador de desempenho é uma medida quantitativa da eficiência e da eficácia de uma entidade gestora relativamente a aspectos específicos da atividade desenvolvida ou do comportamento de sistemas. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço, enquanto a eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos realisticamente, foram cumpridos (ALEGRE *et al.*, 2000). Matos *et al.* (2004) afirmam que os indicadores de desempenho constituem um instrumento de apoio ao monitoramento da eficiência e da eficácia da entidade gestora, simplificando uma avaliação que de outro modo seria mais complexa e subjetiva.

Os indicadores de desempenho, em geral, são calculados pela razão entre duas variáveis da mesma natureza ou de natureza distinta, sendo, assim, adimensionais (expressos em razão ou percentagem) ou intensivos (ex: número de ligações / extensão de rede) (STAHRE e ADAMSSON, 2004; ALEGRE *et al.*, 2006). Conforme a série de normas divulgadas pela ISO 24500 de 2007, no caso dos indicadores intensivos, o denominador deve representar uma dimensão do sistema, para que seja possível a realização de comparações ao longo do tempo, ou entre sistemas de diferentes magnitudes.

Para que possam ser utilizados de maneira adequada, os IDs devem reunir uma série de condições básicas. Tais condições são apresentadas por von Sperling (2010) de maneira clara e resumida, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características básicas de um bom indicador de desempenho.

Característica	Explicação
1. Claro, compreensível e de interesse	Evitar incertezas em relação ao que é bom ou ruim, fácil de entender, com unidades que tenham sentido, e sugestivos para possível utilização
2. Relevante e representativo	Politicamente relevante para todos os participantes do sistema
3. Viável	Custo adequado de aquisição e processamento de dados e comunicação
4. Suficiente	Fornecer a medida certa da informação
5. Fidedigno	Deve representar os aspectos de maneira fidedigna a fim de evitar distorções
6. Temporal	Oportuno temporalmente, integrado com o planejamento
7. Adequado na escala	Adequado aos diferentes usuários potenciais
8. Democrático	Não devem ser determinados apenas por um pequeno grupo de especialistas e sim por lideranças políticas e por pessoas da comunidade
9. Medida física	Balancar unidades físicas e monetárias
10. Preventivo e proativo	Deve conduzir para a mudança, fornecendo informação em tempo para a tomada de decisão
11. Não deve ser estanque	Deve estar inserido num processo de melhoria contínua, passível de discussão, aprendizado e mudança

Fonte: Meadows (1998), Malheiros *et al.* (2006), Molinari (2006) *apud* von Sperling (2010).

Diante de tais conceitos, o uso de IDs vem sendo adotado e recomendado por diversas organizações do setor de saneamento, tanto nacionais quanto internacionais. O levantamento de IDs, realizado no âmbito do saneamento de modo geral, é apresentado na Tabela 3.2. Destaque é dado ao quantitativo de IDs utilizados para avaliação de ETEs em cada um dos sistemas considerados uma vez que estes são o tema do presente estudo.

Tabela 3.2 – Quantitativo de IDs de sistemas de diversas organizações de saneamento.

Organização ou Entidade	ID	
	Total	ETEs
<i>International Water Association (IWA)</i>	182	56
<i>Water Service Association of Australia (WSAA)</i>	55	4
Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)	49	0
Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento (PNQS)	46	1
<i>International Organization for Standardization (ISO)</i>	41	10
<i>International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET)</i>	37	0
<i>Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Americas (ADERASA)</i>	30	2
<i>Six Scandinavian Cities Group</i>	25	10
<i>American Water Works Association (AWWA)</i>	22	1
Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal (ERSAR)	16	2
Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR)	14	2
<i>Office of Water Services (OFWAT)</i>	10	2
Total	527	90

Dentre os sistemas de IDs analisados, vale destacar aqueles propostos pelas organizações: *International Organization for Standardization (ISO)*, *International Water Association (IWA)*, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal (ERSAR) e Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR), apresentados detalhadamente, a seguir, com ênfase no esgotamento sanitário. Para o presente estudo, a relevância das duas primeiras entidades se deve, principalmente, à elevada quantidade de IDs associados a estações de tratamento de esgotos, enquanto a importância das duas últimas está associada a finalidade das mesmas, a regulação.

3.1.1 *International Organization for Standardization (ISO)*

A série ISO 24500, publicada em 2007, é constituída por três normas: a ISO 24510, que apresenta as diretrizes para a melhoria e para avaliação dos serviços aos usuários, e as ISO 24511 e ISO 24512, que apresentam as diretrizes para a gestão dos serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água potável, respectivamente (ISO, 2007). Ao contrário das demais normas ISO, a referida série não é certificável e tem aplicação voluntária. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou, em dezembro de 2012, a NBR ISO 24511:2012 - Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto -

Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e para a avaliação dos serviços de esgoto.

As normas têm a finalidade de estabelecer critérios comuns para a boa prestação dos serviços, incluindo a elaboração de IDs e sua utilização, tendo em vista a melhoria dos níveis de serviço (MOLINARI, 2006). O uso de IDs é recomendado para avaliar as entidades prestadoras de serviço ao longo do tempo, em seu processo de melhoria contínua e como um instrumento para a identificação das melhores práticas, a partir da comparação com outras prestadoras (MOLINARI, 2011). A Figura 3.1 sintetiza o conteúdo e a aplicação da metodologia apresentada pela série ISO 24500.

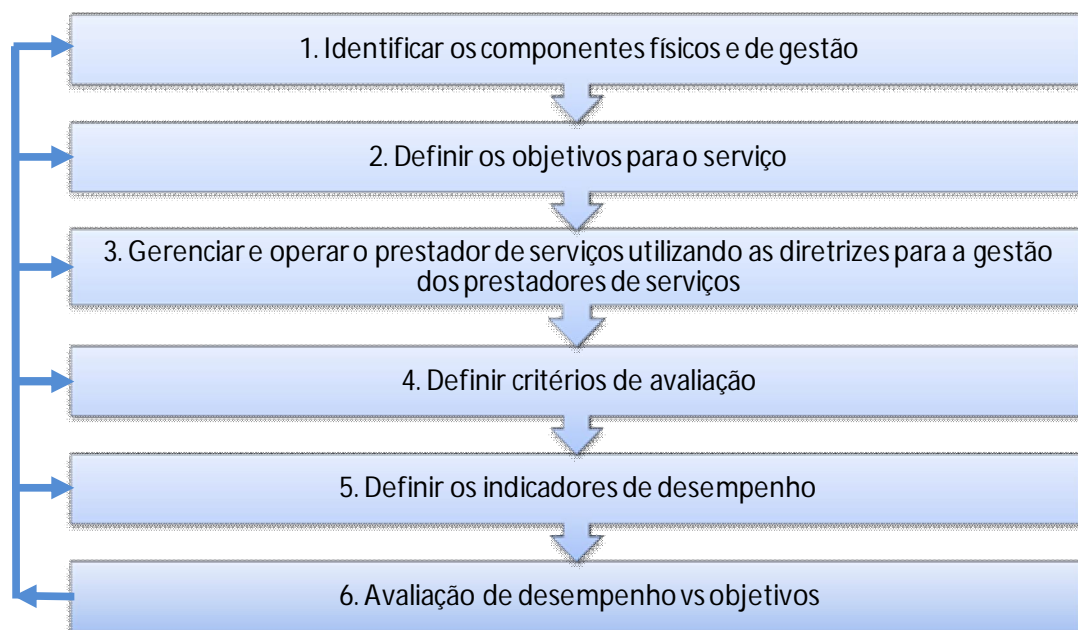


Figura 3.1 – Síntese do conteúdo e da aplicação da norma ISO 24500.
Fonte: ISO (2007).

A metodologia de avaliação das normas ISO 24500 propõe estabelecer, em primeiro lugar, os objetivos do serviço, em seguida os critérios de avaliação e finalmente medir as variáveis que permitam calcular os IDs mais adequados para avaliar os critérios estabelecidos (MOLINARI, 2011). Dessa forma, as normas são suficientemente flexíveis e permitem a adaptação de acordo com as necessidades locais, regionais ou nacionais (ISO, 2007). Além disso, suas diretrizes seguem o princípio de uma ferramenta de gestão de qualidade, o ciclo "*Plan-Do-Check-Act*" (PDCA), uma vez que liga, por um processo dinâmico e interativo, métodos e

ferramentas para o desenvolvimento de especificações e objetivos adaptados ao local, a componentes de gestão e atividades, necessárias para a avaliação de desempenho (ISO, 2007).

Na Figura 3.2 é apresentado um exemplo de possível relação entre partes interessadas para o estabelecimento de objetivos, bem como a relação entre objetivos, critérios de avaliação e indicadores de desempenho.

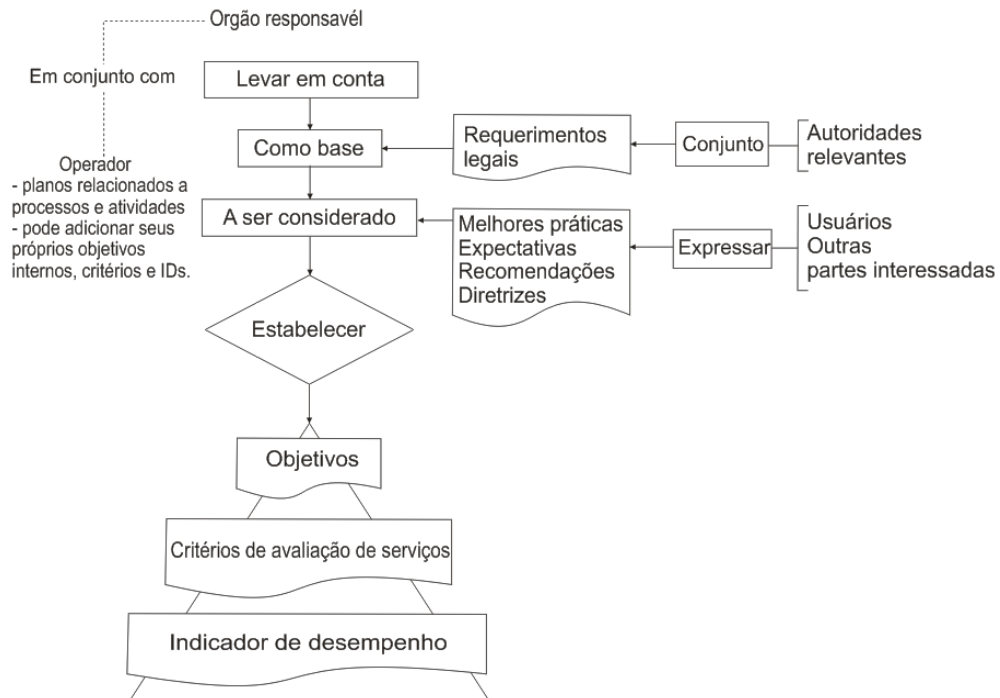


Figura 3.2 - Exemplo de relações entre partes interessadas para estabelecimento dos objetivos, critérios de avaliação do serviço e indicadores de desempenho.

Fonte: ISO (2007).

A ISO 24511, norma que fornece diretrizes para a gestão dos serviços de esgotamento sanitário, apresenta (ISO, 2007):

- a definição de uma linguagem comum para as diferentes partes interessadas;
- objetivos dos serviços de esgotamento sanitário;
- diretrizes para o gerenciamento de serviços de esgotamento sanitário;
- critérios de avaliação de serviços e exemplos de indicadores de desempenho relacionados, todos sem determinação dos objetivos ou limitações.

A ISO 24511 apresenta 41 exemplos de indicadores de desempenho associados a objetivos e sugestões de critérios de avaliação de esgotamento sanitário. Dentre eles, 10 indicadores são sugeridos para a avaliação do desempenho de uma ETE (Tabela 3.3). Os mesmos se encontram associados aos seguintes objetivos: proteção da saúde pública, prestação de serviços em situações normais e de emergência, promoção do desenvolvimento sustentável da comunidade e proteção do ambiente.

Tabela 3.3 – Exemplos de critérios de avaliação e IDs de serviços de esgotamento sanitário propostos pela ISO 24511

Critério de Avaliação	Indicador de desempenho
<i>Proteção da Saúde Pública</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura adequada dos serviços aos usuários • Saúde e segurança do pessoal • Integridade do sistema • Lançamento seguro de águas residuárias 	<ul style="list-style-type: none"> • População residente não servida • <i>Número de desconformidades de testes de qualidade/quantidade de testes na descarga de efluente</i> • <i>Testes de qualidade de esgotos realizados de acordo com requisitos</i> • <i>Testes de qualidade de resíduos realizados de acordo com requisitos</i>
<i>Atendimento às necessidades e expectativas dos usuários</i>	
Ver ISO 24510 (2007), exemplos: <ul style="list-style-type: none"> • Simplicidade em fornecer um novo serviço de conexão • Efeitos em interrupções em usos do serviço (planejado/ não planejado) • Existência de um plano de desenvolvimento do serviço • Balanço entre demanda e capacidade do sistema de abastecimento de água • Escolha de forma de pagamento 	Ver ISO 24510 (2007), exemplos: <ul style="list-style-type: none"> • Eficiência da nova conexão • Interrupções por conexão • Conformidade da qualidade da água; • Cobertura da população • Contatos telefônicos resolvidos no tempo • <i>Concordância das estações de tratamento de esgotos com padrões de lançamento</i> • Existência de um sistema de gerenciamento ambiental
<i>Prestação de serviços em situações normais e de emergência</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Continuidade da operação das estações de tratamento de esgotos • Minimização dos entupimentos de esgoto • Desenvolvimento de um plano de emergência • Estoque adequado de peças de reposição (ex.: tubos de esgoto, bombas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Entupimento de esgotos • Número de propriedades afetadas por transbordamento de esgotos em mau funcionamento • <i>Número de falhas em estações de tratamento de esgotos dentro do limite permitido</i>
<i>Sustentabilidade dos serviços de esgotamento sanitário</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Desempenho da rede (ex.: colapso ou entupimento de esgoto) • Condição do patrimônio (ex.: idade, confiança) • Custos de operação • Nível do pessoal e competências • Desempenho financeiro: faturamento, cobrança, dívida • Acessibilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de cobertura de custo total • Taxa média de substituição da rede • Custo operacional unitário • Ativos fixos (bruto / líquido) • Receita média por conexão • Índice da tarifa industrial pela residencial • Taxa de conexão • Conta de esgoto mensal por casa • Período de recolhimento da conta • Taxa de recolhimento da conta • Cobertura dos custos de operação • Relação do serviço de débito

Continua.

Critério de Avaliação	Indicador de desempenho
<i>Promoção do desenvolvimento sustentável da comunidade</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Reúso de esgotos tratados • Uso sustentável de energia (economia e reúso) • Recuperação de custos e sustentabilidade a longo prazo dos serviços • Estrutura de taxas claras e justas • Informação compreensível e transparente para os usuários/clientes 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reúso de esgoto</i> • <i>Utilização de resíduo</i> • <i>Consumo de energia por tratamento de esgoto</i> • <i>Recuperação de energia de sistemas de esgoto</i> • <i>Capacidade de utilização do tratamento de esgotos</i>
<i>Proteção do ambiente (proteção do ambiente natural e proteção do ambiente construído/público)</i>	
<p>Proteção do ambiente natural:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prevenção e controle de extravasamento • Monitoramento de emissões ambientais • Uso sustentável de energia • Preservação de ecossistemas (flora e fauna) <p>Proteção do ambiente construído/público:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efeitos de inundação • Prevenção e controle de poluição • Manutenção do patrimônio 	<p>Proteção do ambiente natural:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frequência da descarga intermitente • Impacto ambiental de extravasamentos de esgotos • Eficácia do sistema • Porcentagem de volume coletado em relação ao volume enviado para tratamento • <i>Proporção do esgoto coletado que recebe pelo menos tratamento primário</i> • <i>Proporção de esgoto coletado que recebe pelo menos tratamento secundário.</i> <p>Proteção do ambiente construído/público:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inundação de propriedade por esgotos • Número de sobrecargas por comprimento de rede de esgotos • Número de eventos de inundação por unidade de tempo • Peso dos sedimentos removidos por comprimento de rede de esgoto • Porcentagem de rede de esgoto inspecionada por unidade de tempo • Água infiltrada nos esgotos por vazão de esgotos • Porcentagem de rede de esgotos limpa por unidade de tempo • Número de falhas em estações de bombeamento, por ano e por comprimento de rede de esgoto • <i>Peso dos resíduos removidos por caixa de areia, separador de óleos e graxas e gradeamento</i> • <i>Volume de sedimentos removidos de estruturas do sistema</i> • Frequência de inspeção de equipamento • Porcentagem de pessoal treinado a um nível de habilidade apropriado.

Em itálico: IDs que podem se relacionar ao tratamento de esgotos.

Fonte: ISO (2007).

Com a finalidade de definir características, inerentes a um dado sistema, relevantes para a interpretação dos IDs, a metodologia da ISO 24511 recomenda a utilização de informações de contexto. Segundo a mesma norma, existem dois tipos de informações de contexto:

- a informação que descreve contexto puro e fatores externos que não estão sob o controle do prestador de serviços como demografia, topografia e clima;

- características que só podem ser influenciadas por decisões de gestão a longo prazo, como a idade das infraestruturas.

Um sistema de IDs também é constituído por um conjunto de variáveis. Segundo ISO (2007), cada variável deve:

- ajustar-se à definição utilizada pelo indicador de desempenho ou pela informação de contexto na qual é usada;
- referir-se à mesma área geográfica e ao mesmo período de tempo ou data de referência utilizada pelos IDs ou pelas informações de contexto para os quais é usado;
- ser tão confiável e precisa quanto requerem as decisões tomadas com base na mesma.

Algumas das variáveis são dados externos e de carácter principalmente informativo, encontrando-se fora do controle dos prestadores de serviços. Portanto, sempre que possível, as variáveis devem ser coletadas de fontes oficiais que incluam informações sobre a exatidão e a confiabilidade das mesmas.

Desse modo, a norma recomenda a utilização de um sistema de classificação dos dados em função da sua qualidade para que os usuários dos IDs estejam cientes da exatidão e confiabilidade das informações disponíveis consideradas nos cálculos dos ID. A precisão está associada aos erros no momento da medição dos dados de entrada, enquanto o grau de confiabilidade informa quão confiável pode ser a fonte dos dados (ISO, 2007).

3.1.2 *International Water Association (IWA)*

Anterior ao trabalho da ISO, destaca-se a iniciativa da IWA, com a publicação de manuais de indicadores de desempenho para sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Publicado em 2000, o primeiro manual, referente ao abastecimento de água, tinha como principais objetivos fornecer um quadro de referência de IDs que constituísse um instrumento de apoio à gestão das prestadoras de serviço e agências reguladoras, além de permitir futuras comparações entre prestadoras de serviço no âmbito de iniciativas de *benchmarking* métrico. Dessa forma, Molinari (2006) destaca que a finalidade principal do trabalho da IWA é a unificação de critérios e definições, para tornar mais compatíveis e comparáveis os estudos em todo o mundo.

Seguindo a mesma linha metodológica do primeiro manual, foi publicado em 2003 o manual de IDs para sistemas de esgotamento sanitário (MATOS *et al.*, 2003). Nota-se, nessa publicação, a preocupação em se desenvolver IDs para a avaliação de ETEs uma vez que, dentre os 182 indicadores, 56 são específicos para a avaliação das referidas estruturas, abrangendo todas as dimensões adotadas pela IWA: recursos humanos (Tabela 3.4), operação (Tabela 3.5), meio ambiente (Tabela 3.6), infraestrutura (Tabela 3.7), qualidade do serviço (Tabela 3.8), econômica-financeira (Tabela 3.9). Vale ressaltar que aqueles IDs que avaliam as ETEs em relação ao sistema de esgotamento sanitário como um todo, como por exemplo wEn1, foram desconsiderados já que a intenção do presente estudo é avaliar o desempenho específico de cada ETE.

Tabela 3.4 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão recursos humanos.

Código	Indicador (unidade)
wPe1	<i>Funcionários trabalhando na ETE por população equivalente (nº/1000 p.e.)</i>
wPe2	Funcionários trabalhando no sistema de esgotos por rede (nº/100 km rede)
wPe3	Índice de gestores gerais (%)
wPe4	Índice de funcionários de recursos humanos (%)
wPe5	Índice funcionários de finanças e comercial (%)
wPe6	Índice de funcionários de atendimento ao público (%)
wPe7	Índice de funcionários técnicos (%)
wPe8	Índice de funcionários de planejamento, projetos e obras (%)
wPe9	Índice de funcionários de operação (%)
wPe10	<i>Número de operadores na ETE (nº/1000 p.e.)</i>
wPe11	Número de operadores no sistema de esgotos (nº/100 km rede)
wPe12	<i>Pessoal dedicado ao monitoramento da qualidade das águas residuárias (nº/1000 testes/ano)</i>
wPe13	<i>Pessoal dos serviços de apoio (%)</i>
wPe14	<i>Pessoal com formação universitária (%)</i>
wPe15	<i>Pessoal com escolaridade mínima obrigatória (%)</i>
wPe16	<i>Pessoal com outras qualificações (%)</i>
wPe17	<i>Tempo total de treinamento dos funcionários (horas/func./ano)</i>
wPe18	<i>Pessoal com vacinação atualizada relativa a doenças potencializadas pelo contato com esgoto (%)</i>
wPe19	Índice de treinamento em lugares fechados (%)
wPe20	<i>Acidentes de trabalho (nº/100 func./ano)</i>
wPe21	<i>Acidentes fatais ou permanentes no trabalho (nº/100 func./ano)</i>
wPe22	<i>Absenteísmo (dias/100 func./ano)</i>
wPe23	<i>Absenteísmo por acidente de trabalho ou doença (dias/100 func./ano)</i>
wPe24	<i>Absenteísmo por outras razões (dias/100 func./ano)</i>
wPe25	<i>Horas extras (%)</i>

Em itálico: IDs que podem se relacionar ao tratamento de esgotos.

Fonte: MATOS *et al.* (2003).

Tabela 3.5 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão operação.

Código	Indicador (unidade)
wOp1	Índice de inspeção nas tubulações (%/ano)
wOp2	Índice de limpeza das tubulações (%/ano)
wOp3	Número de inspeções nos poços de visita (-/ano)
wOp4	Número de inspeções nos bueiros (-/ano)
wOp5	Número de limpezas dos bueiros (-/ano)
wOp6	Frequência de inspeção dos tanques de equalização (nº/ano)
wOp7	Volume de inspeção dos tanques de equalização (-/ano)
wOp8	Limpeza dos tanques de equalização (-/ano)
wOp9	Inspeção de gradeamento dos tanques de equalização (-/ano)
wOp10	<i>Frequência de inspeção de EE (-/ano)</i>
wOp11	Inspeção por potência de bomba (-/ano)
wOp12	Calibração de medidores de vazão do sistema de esgotos (-/ano)
wOp13	<i>Calibração de medidores de vazão das ETEs (-/ano)</i>
wOp14	<i>Calibração de equipamento de monitoramento da qualidade dos esgotos (-/ano)</i>
wOp15	<i>Inspeção do sistema de emergência (-/ano)</i>
wOp16	<i>Inspeção de equipamento de transmissão de sinais (-/ano)</i>
wOp17	<i>Inspeção de equipamentos elétricos (-/ano)</i>
wOp18	<i>Consumo de energia em ETEs (kWh/p.e./ano)</i>
wOp19	<i>Aproveitamento energético nas ETEs (%)</i>
wOp20	Consumo de energia padrão (kWh/m ³ /m)
wOp21	Reabilitação de redes coletoras (%/ano)
wOp22	Renovação de redes coletoras (%/ano)
wOp23	Trocas de redes coletoras (%/ano)
wOp24	Reparo de redes e conexões (nº/100 km/ano)
wOp25	Reparo ou troca de PVs (%/ano)
wOp26	Trocas de tampões de PVs (%/ano)
wOp27	Manutenção de ligações prediais (%/ano)
wOp28	Manutenção de bombas (%/ano)
wOp29	Troca de bombas (%/ano)
wOp30	Infiltração, ligações clandestinas, vazamentos (%)
wOp31	Ligações clandestinas (m ³ /km/ano)
wOp32	Infiltração (m ³ /km/ano)
wOp33	Vazamentos (m ³ /km/ano)
wOp34	Entupimento de rede (nº/100 km/ano)
wOp35	Entupimentos de rede pontuais (nº/100 km/ano)
wOp36	Entupimentos de estações elevatórias (nº/EE/ano)
wOp37	Extravasamento de redes (nº/100 km/ano)
wOp38	Extravasamento de sistemas unitários (nº/100 km/ano)
wOp39	Inundação superficial (nº/100 km/ano)
wOp40	Ruptura de redes (nº/100 km/ano)
wOp41	Falha de bombas (horas/bomba/ano)
wOp42	Falha energética (horas/EE/ano)
wOp43	Controle de tanques de equalização (%)
wOp44	<i>Testes de qualidade dos esgotos realizados (-/ano)</i>
wOp45	<i>Teste de DBO (-/ano)</i>
wOp46	<i>Teste de DQO (-/ano)</i>
wOp47	<i>Teste de SST (-/ano)</i>
wOp48	<i>Teste de P Total (-/ano)</i>
wOp49	<i>Teste de Nitrogênio (-/ano)</i>

Continua.

Código	Indicador (unidade)
wOp50	Teste <i>E.coli</i> (-/ano)
wOp51	Outros testes (-/ano)
wOp52	Teste de lodo (-/ano)
wOp53	Teste de lançamentos industriais (-/ano)
wOp54	Disponibilidade de veículos (nº/100 km)
wOp55	Detectores de gás (nº/func.)
wOp56	Detectores de gás permanentemente instalados (%)

Em itálico: IDs que podem se relacionar ao tratamento de esgotos.

Fonte: MATOS *et al.* (2003).

Tabela 3.6 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão meio ambiente.

Código	Indicador (unidade)
wEn1	Atendimento de ETEs ao padrão de lançamento (%/ano)
wEn2	Reúso de efluente (%)
wEn3	Frequência de vazão de inundação intermitente (nº inundações/ano)
wEn4	Volume de inundação intermitente (m ³ inundação/ano)
wEn5	Vazão de inundação intermitente relacionada com chuvas (%/ano)
wEn6	Produção de lodo na ETE (kg/p.e./ano)
wEn7	Reutilização do lodo (%)
wEn8	Disposição do lodo (%)
wEn9	Lodo encaminhado para o aterro (%)
wEn10	Secagem térmica do lodo (%)
wEn11	Outros destinos do lodo (%)
wEn12	Sedimentos dos esgotos (t/km rede/ano)
wEn13	Sedimentos de unidades auxiliares (t/km rede/ano)
wEn14	Sólidos de gradeamento e desarenadores (t/km rede/ano)
wEn15	Sedimentos de unidades particulares (t/p.e./ano)

Em itálico: IDs que podem se relacionar ao tratamento de esgotos.

Fonte: MATOS *et al.* (2003).

Tabela 3.7 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão infraestrutura.

Código	Indicador (unidade)
wPh1	Utilização de tratamento preliminar (%)
wPh2	Utilização de tratamento primário (%)
wPh3	Utilização de tratamento secundário (%)
wPh4	Utilização de tratamento terciário (%)
wPh5	Índice de sobrecarga nas tubulações em estações secas (%)
wPh6	Índice de sobrecarga nas tubulações em estações chuvosas (%)
wPh7	Índice de elevadas sobrecargas nas tubulações (%)
wPh8	Índice de bombeamento no sistema (%)
wPh9	Potência de bombeamento utilizada na ETE (%)
wPh10	Índice de estações elevatórias críticas (%)
wPh11	Índice de automação (%)
wPh12	Índice de controle remoto (%)

Em itálico: IDs que podem se relacionar ao tratamento de esgotos.

Fonte: MATOS *et al.* (2003).

Tabela 3.8 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão qualidade do serviço.

Código	Indicador (unidade)
wQS1	População residente conectada à rede coletora (%)
wQS2	População residente servida por ETE (%)
wQS3	População residente servida por sistema individual (%)
wQS4	População residente não atendida (%)
wQS5	Esgoto tratado na ETE (%)
wQS6	Índice de esgoto tratado por tratamento preliminar (%)
wQS7	Índice de esgoto tratado por tratamento primário (%)
wQS8	Índice de esgoto tratado por tratamento secundário (%)
wQS9	Índice de esgoto tratado por tratamento terciário (%)
wQS10	Propriedades afetadas com inundação na estação seca (nº/1000 prop./ano)
wQS11	Propriedades afetadas com inundação na estação chuvosa (nº/1000 prop./ano)
wQS12	Propriedades afetadas com inundação por sistemas unitários na estação seca (nº/1000 prop./ano)
wQS13	Propriedades afetadas com inundação por sistemas unitários na estação chuvosa (nº/1000 prop./ano)
wQS14	Propriedades afetadas com inundação superficial em estações chuvosas (nº/1000 prop./ano)
wQS15	Interrupção na coleta de esgotos (%)
wQS16	Eficiência de instalação de novas conexões (dias/conexões)
wQS17	Tempo de reparo de conexões (dias/conexões)
wQS18	Tempo de resposta médio de limpeza de fossas (dias/pedido)
wQS19	Total de reclamações (nº/1000 hab./ano)
wQS20	Reclamações bloqueadas (nº/1000 hab./ano)
wQS21	Reclamações por inundação (nº/1000 hab./ano)
wQS22	Reclamações por incidentes de poluição (nº/1000 hab./ano)
wQS23	<i>Reclamações relativas a odores (nº/1000 hab./ano)</i>
wQS24	Reclamações por roedores (nº/1000 hab./ano)
wQS25	Reclamações por contas (nº/1000 hab./ano)
wQS26	Outras reclamações (nº/1000 hab./ano)
wQS27	<i>Outras reclamações e pedidos de esclarecimento (%)</i>
wQS28	Índice de danos a terceiros (%)
wQS29	Interrupção no tráfego (km/interrupção)

Em itálico: IDs que podem se relacionar ao tratamento de esgotos.

Fonte: MATOS et al. (2003).

Tabela 3.9 – Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário propostos pela IWA da dimensão econômico-financeira.

Código	Indicador (unidade)
wFi1	Receita unitária (US\$/p.e./ano)
wFi2	Receita de serviços (%)
wFi3	Outras receitas (%)
wFi4	Receitas industriais (%)
wFi5	<i>Despesa total unitária por p.e. (US\$/p.e./ano)</i>
wFi6	Despesa total unitária por extensão de rede (US\$/km/ano)
wFi7	Despesa corrente unitária por p.e. (US\$/p.e./ano)
wFi8	Despesa corrente unitária por extensão de rede (US\$/km/ano)
wFi9	Despesa capital unitária por p.e. (US\$/p.e./ano)
wFi10	Despesa capital unitária por extensão de rede (US\$/km/ano)
wFi11	<i>Despesas com pessoal (%)</i>
wFi12	<i>Despesas com serviços externos (%)</i>
wFi13	<i>Despesas com energia elétrica (%)</i>
wFi14	<i>Despesas com materiais, produtos químicos e outros insumos (%)</i>
wFi15	<i>Outras despesas (%)</i>
wFi16	Despesas com pessoal da administração/diretoria (%)
wFi17	Despesas com pessoal dos recursos humanos (%)
wFi18	Despesas com pessoal do financeiro e comercial (%)
wFi19	Despesas com pessoal de atendimento ao usuário (%)
wFi20	Despesas com pessoal dos serviços técnicos (%)
wFi21	<i>Despesas com tratamento dos esgotos (%)</i>
wFi22	Despesas com a rede coletora (%)
wFi23	<i>Despesas com monitoramento de qualidade dos esgotos (%)</i>
wFi24	<i>Despesas com serviços de apoio (%)</i>
wFi25	Depreciação dos custos (%)
wFi26	Juros líquidos (%)
wFi27	Investimento unitário (%)
wFi28	Investimentos para novos recursos e reforço dos recursos existentes (%)
wFi29	Investimento em trocas e renovação de recursos existentes (%)
wFi30	Razão do custo total de cobertura (-)
wFi31	Razão do custo operacional de cobertura (-)
wFi32	Atraso nas contas a receber (dias)
wFi33	Razão de investimento (-)
wFi34	Contribuição de fontes internas para investimento (%)
wFi35	Idade média dos recursos tangíveis (%/ano)
wFi36	Razão média de depreciação (-/ano)
wFi37	Razão de pagamentos atrasados (-/ano)
wFi38	Inventário de valor (-/ano)
wFi39	Margem do serviço da dívida (%)
wFi40	Dívida capital (-/ano)
wFi41	Liquidez corrente (-)
wFi42	Rentabilidade dos ativos fixos líquidos (%/ano)
wFi43	Retorno sobre capital próprio (%)
wFi44	Retorno de capital empregado (%)
wFi45	Volume de ativos de negócio (-/ano)

Em itálico: IDs que podem se relacionar ao tratamento de esgotos.

Fonte: MATOS et al. (2003).

3.1.3 Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal (ERSAR)

Outra aplicação importante de IDs em serviços de esgotos ocorreu em Portugal. No ano de 2004, foi desenvolvido pelo Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), atualmente denominado Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), com o apoio técnico do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), um sistema de avaliação da qualidade do serviço de saneamento prestado aos usuários. O referido sistema tinha como objetivo a intervenção regulatória e se fundamentou no uso de indicadores de desempenho. O sistema contava com 20 IDs agrupados em três dimensões.

No ano de 2010, a ERSAR, juntamente com o LNEC, desenvolveu o Guia de Avaliação da Qualidade dos Serviços de Águas e Resíduos prestados aos utilizadores – 2ª Geração do sistema de avaliação, baseado no sistema proposto pelo IRAR em 2004. O objetivo deste guia é a apresentação e a especificação do sistema, que constitui o modelo de regulação implementado pela ERSAR, correspondendo à segunda geração de avaliação da qualidade dos serviços de saneamento prestados pelas entidades gestoras sujeitas à sua regulação. Dentre as melhorias atribuídas ao guia pela revisão, destacam-se a redução do número de indicadores de desempenho e o estabelecimento de critérios mínimos de aceitabilidade dos dados (ERSAR/LNEC, 2010).

A partir da revisão, o sistema passou a apresentar 16 indicadores de desempenho agrupados em três dimensões, porém com subdivisões (Tabela 3.10). Dentre os IDs propostos, apenas dois deles, contidos na dimensão sustentabilidade ambiental, podem ser considerados em avaliações de desempenho de ETEs especificamente.

Tabela 3.10 – Indicadores de desempenho utilizados pela ERSAR (em itálico os IDs que podem se relacionar ao tratamento).

Código	Indicador (unidade)
<i>Adequação da Interface com o Usuário</i>	
– Acessibilidade do Serviço aos usuários:	
AR01	Acessibilidade física do serviço (%)
AR02	Acessibilidade econômica do serviço (%)
– Acessibilidade do Serviço aos usuários:	
AR03	Ocorrência de inundações (nº/100km/ano ou nº/100 ramais/ano)
AR04	Resposta a reclamações e sugestões (%)
<i>Sustentabilidade da Gestão do Serviço</i>	
<i>Sustentabilidade econômica:</i>	
AR05	Cobertura dos gastos totais (-)
AR06	Adesão ao serviço (%)
<i>Sustentabilidade infraestrutural:</i>	
AR07	Adequação da capacidade de tratamento (%)
AR08	Reabilitação de coletores (%/ano)
AR09	Ocorrência de colapsos estruturais em coletores (nº/100km/ano)
– Produtividade física dos recursos humanos:	
AR10	Adequação dos recursos humanos (nº/10 ⁶ m ³ /ano ou nº/100km/ano)
<i>Sustentabilidade Ambiental</i>	
– Eficiência na utilização de recursos ambientais:	
AR11	Eficiência energética de instalações elevatórias (kWh/m ³ /100m)
– Eficiência na prevenção da poluição:	
AR12	Destino adequado de águas residuárias recolhidas (%)
AR13	Controle de descargas de emergências (%)
AR14	<i>Análises de águas residuárias realizadas (%)</i>
AR15	Cumprimento de parâmetros de descarga (%)
AR16	<i>Destino de lodos do tratamento (%)</i>

Em itálico: IDs que podem se relacionar ao tratamento de esgotos.

Fonte: ERSAR/LNEC (2010).

3.1.4 Associação Brasileira das Agências Reguladoras (ABAR)

A Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR) é uma entidade de direito privado, criada em 1999, sob a forma de associação civil, sem fins lucrativos, cujos associados são as agências de regulação existentes no Brasil, em nível federal, estadual e municipal.

Em 2012, a ABAR agregava 38 agências associadas (sete municipais, 24 estaduais e seis federais) nos setores de energia, gás, transporte e saneamento. Seu objetivo é promover a mútua colaboração entre as associadas e os poderes públicos, na busca do aprimoramento da regulação e da capacidade técnica, contribuindo para o avanço e consolidação da atividade regulatória em todo o Brasil (ABAR, 2012).

Em 2006, a ABAR, em parceria com o Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS), realizou uma oficina internacional de indicadores para regulação dos serviços de água e de esgotos. Estiveram presentes 14 agências estaduais e municipais, além de representantes do ente regulador de água de Buenos Aires (Etoss), do Sistema de Informação em Água e Saneamento da Bolívia (SIAS) e da Associação de Entes Reguladores de Água Potável e Saneamento das Américas (Aderasa) (XIMENES, 2006).

Como resultado da oficina, foi proposto um conjunto de indicadores para regulação do saneamento a ser utilizado por todas as agências reguladoras. Deve-se atentar que se trata de uma recomendação da oficina internacional de indicadores e da ABAR, embora cada agência reguladora esteja livre para determinar os próprios indicadores e metodologias. Segundo Ximenes (2006), outra recomendação foi a padronização da linguagem, dos conceitos e da definição dos indicadores. Dessa forma, a ABAR passa a ter destaque como um instrumento de organização e de articulação entre as agências para construção de indicadores.

Na Tabela 3.11 apresentam-se os ID relacionados ao sistema de esgotamento sanitário propostos pela oficina internacional de indicadores para regulação dos serviços de água e esgotos realizada pela ABAR. Para organização dos indicadores, foram estabelecidas três dimensões: indicadores operacionais, indicadores de qualidade e indicadores econômico-financeiros.

Tabela 3.11 – ID de esgotamento sanitário propostos pela oficina realizada pela ABAR (em itálico os IDs que podem se relacionar ao tratamento).

Indicador (unidade)	Referência
<i>Indicadores Operacionais</i>	
Densidade de obstruções (obstruções/km)	Aderasa - ICC02
Atendimento Urbano (%)	SNIS - I024
<i>Indicadores de Qualidade</i>	
<i>Cumprimento da quantidade de análises exigidas pela norma (%)</i>	<i>Aderasa - ICC03</i>
<i>Conformidade das análises das águas residuárias (%)</i>	<i>Aderasa - ICC04</i>
* Densidade de reclamações de água e esgoto (reclamações/1.000)	-
* Quantidade de solicitações de serviços de água e esgoto (%)	-
* Atendimento em tempo às reclamações (%)	-
<i>Indicadores Econômico-Financeiros</i>	
Faturamento médio de esgoto (R\$/m ³)	SNIS - I006
* Índice de desempenho financeiro (%)	SNIS - I012
* Custo médio faturado (R\$/m ³)	SNIS - I026
* Inadimplência (%)	SNIS - I029
* Endividamento sobre o patrimônio (%)	-
* Rentabilidade sobre o patrimônio líquido (%)	-
* Liquidez geral (%)	SNIS - I062

Legenda: * indicadores utilizados para os serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água.

Em itálico: IDs que podem se relacionar ao tratamento de esgotos.

Fonte: XIMENES (2006).

3.2 Indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos

Bálmer e Hellström (2012) explicam que indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos são razões nas quais o numerador normalmente é constituído por algum tipo de consumo ou um custo enquanto no denominador existe um número relacionado com a capacidade da estação de tratamento ou com um fator de desempenho da mesma. Para a capacidade, as expressões geralmente utilizadas são: equivalente populacional (e.p.), volume de esgotos tratado e volume de esgotos cobrado dos usuários. Como exemplo de fator de desempenho tem-se a massa de demanda química de oxigênio (DQO) removida.

Poucos são os sistemas de IDs específicos para estações de tratamento de esgotos. Dentre eles destacam-se os sistemas do LNEC de Portugal, da *Swedish Water & Wastewater Association* (SWWA), da *Austrian Water and Waste Association* e o sistema proposto em pesquisa realizada na Universidade de Brasília (UnB) no ano de 2001 para avaliação de estações do Distrito Federal.

3.2.1 Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (LNEC)

Em Portugal, o LNEC vem desenvolvendo o projeto denominado PAST21 – Iniciativa nacional de avaliação de desempenho de ETAs e ETEs urbanas, que atua em uma dimensão nacional, envolvendo 10 ETAs e 17 ETEs do país. Este projeto envolve a agência reguladora portuguesa, a ERSAR, e tem o apoio de duas associações: Associação Portuguesa para Estudos de Saneamento Básico (APESB) e Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH). O referido estudo, no que tange às ETEs urbanas, considerou os princípios estabelecidos pela ISO 24510 e ISO 24511, bem como os sistemas de indicadores de desempenho da IWA.

Segundo Silva *et al.* (2011), o sistema de avaliação de desempenho de ETEs, identificado como PAS_WWTP (*Performance Assessment Systems for Wastewater Treatment Plants*), é constituído por uma componente de avaliação de desempenho global (OvPA) e uma componente de avaliação de desempenho operacional (OpPA). O primeiro se destina a apoiar as decisões feitas ao nível da gestão técnica da estação de tratamento de esgotos e é baseado em indicadores de desempenho, enquanto OpPA compreende índices de desempenho para

uma avaliação detalhada de cada unidade de operação/processo de uma estação (Quadros *et al.*, 2010). Na Tabela 3.12 apresentam-se todos os IDs do projeto PAST21 obtidos pela literatura, que totalizam 72 dos 106 IDs utilizados na componente OvPA.

Tabela 3.12 – Exemplos de indicadores de desempenho de estações de tratamento de esgotos do projeto PAST21 do LNEC.

Grupo (Número total de IDs)	Exemplos de Ids
Qualidade dos esgotos tratados – Lançamento de esgotos em corpos receptores (4)	<p>wtWQ01.1 = Testes de qualidade realizados (descarga permitida pela regulação) (%)</p> <p>wtWQ01.2 = Conformidade da água de descarga em número de análises realizadas (DL 152/97) (%)</p> <p>wtWQ03.1 = Conformidade da qualidade do esgoto (descarga permitida pela regulação) (%)</p> <p>wtWQ03.2a = Conformidade da água de descarga em relação à qualidade (DL 152/97) (%)</p> <p>wtWQ04 = Conformidade da qualidade da água residuária com outros padrões (%)</p> <p>wtWQ05 = Conformidade da água residuária para reutilização em N° de análises realizadas*</p>
Qualidade dos esgotos tratados – Reúso da água (4)	<p>wtWQ07 = Conformidade da qualidade da água residuária com padrões permitidos para reúso (%)</p> <p>wtWQ08.1 = Qualidade microbiológica da água recuperada nos pontos de entrega (%)</p>
Uso dos recursos naturais e matérias-primas (6)	<p>wtRU01 = Consumo de água nova (%)</p> <p>wtRU03 = Consumo de energia (kWh/m³)</p> <p>wtRU04 = Consumo de ácidos e bases (eq./m³)</p> <p>wtRU06 = Reposição/substituição de meios de enchimento*</p> <p>wtRU06.0a = Substituição de areia (%/ano)</p>
Gestão de subprodutos (18)	<p>wtBP01.1 = Produção de lodo (kg lodo/m³)</p> <p>wtBP02 = Saída do lodo (-)</p> <p>wtBP04 = Valorização de lodos (%)</p> <p>wtBP08 = Teor em matéria seca dos lodos produzidos (%)</p> <p>wtBP09 = Produção de outros subprodutos (m³/10⁶ m³)</p> <p>wtBP10 = Escoamento de subprodutos*</p> <p>wtBP13 = Rejeição do meio suporte do leito (m³/10⁶ m³)</p> <p>wtBP17 = Produção de biogás (m³/kg)</p> <p>wtBP18 = Valorização de biogás*</p> <p>wtBP19 = Emissões de gases de efeito estufa*</p>
Segurança (3)	<p>wtSa01 = Derrames e fugas de produtos químicos, subprodutos (ou águas residuárias) (kg/10⁶ m³)</p> <p>wtSa01.0a = Derramamentos e/ou vazamentos de gás químico (kg/10⁶ m³)</p> <p>wtSa02 = Acidentes no trabalho (N°/(empregados.ano))</p> <p>wtSa03 = Resposta a emergência (minuto/caso de emergência)</p>

Continua.

Grupo (Número total de IDs)	Exemplos de Ids
Eficiência da planta e confiabilidade (50)	<p>wtER01 = Eficiência volumétrica (%)</p> <p>wtER02 = Eficiência mássica de estabilização de DBO₅*</p> <p>wtER03 = Eficiência mássica de remoção de DBO₅ (%)</p> <p>wtER04 = Eficiência de remoção de massa de DQO (%)</p> <p>wtER9 = Equalização das taxas de vazão (%)</p> <p>wtER13 = Adequação da capacidade de planta (%)</p> <p>wtER15 = Adequação da capacidade mássica em DBO₅ (%)</p> <p>wtER17 = Adequação da capacidade mássica em SST*</p> <p>wtER23 = Armazenamento de produtos químicos (dia)</p> <p>wtER24 = Testes de laboratório (Nº/ano)</p> <p>wtER25 = Monitoramento da qualidade das águas residuárias*</p> <p>wtER25.i = Monitoramento da qualidade do esgoto (%)</p> <p>wtER27 = Reciclagem da automação (%)</p> <p>wtER28 = Controle da recirculação (%)</p> <p>wtER32.i = Supervisão do tratamento (%)</p> <p>wtER33.1 = Inspeção de bomba (Nº/(bomba x ano))</p> <p>wtER33.2 = Bombas inspecionadas (%)</p> <p>wtER34.2 = Inspeção dos aeradores (%/ano)</p> <p>wtER35.1 = Inspeção de motobombas (Nº/(motobomba.ano))</p> <p>wtER35.2 = Motobombas inspecionadas (%)</p> <p>wtER39.0a = Inspeção do escoamento no meio filtrante (Nº/(escoamento no filtro x ano))</p> <p>wtER41 = Calibração dos medidores de vazão (Nº/medidor de vazão x ano)</p> <p>wtER44 = Calibração de dosadores de reagentes*</p> <p>wtER46 = Interrupção do funcionamento de aeradores*</p> <p>wtER47 = Tempo médio para resolver uma falha (hora/falha)</p> <p>wtER49 = Autonomia de energia (%)</p> <p>wtER50 = Reclamações (Nº/ano)</p> <p>wtER52 = Reclamações devido ao funcionamento da ETE*</p> <p>wtER54 = Interrupção do funcionamento de motobombas (> 30 min) *</p>
Recursos humanos (8)	<p>wtPe01 = Disponibilidade de pessoal (Nº/10⁶ m³)</p> <p>wtPe02 = Pessoal com ensino superior (%)</p> <p>wtPe04 = Tempo total de treinamento (hora/(empregado.ano))</p> <p>wtPe06.1 = Absenteísmo (%)</p> <p>wtPe07 = Absenteísmo por acidente de trabalho ou doença profissional*</p> <p>wtPe08 = Hora extra de trabalho (%)</p>
Recursos financeiros (9)	<p>wtFi01 = Receita unitária (Euro/m³)</p> <p>wtFi03 = Custos unitários correntes (Euro/m³)</p> <p>wtFi05 = Custos de serviços externos (%)</p> <p>wtFi05.1 = Custo com energia elétrica (Euro/m³)</p> <p>wtFi06 = Custos com energia elétrica (%)</p> <p>wtFi09 = Taxa de cobertura de custo de funcionamento (-)</p> <p>wtFi10 = Taxa de cobertura dos custos operacionais ajustados (-)</p>
Planejamento e projeto (4)	<p>wtPD01 = Pessoal dedicado ao planejamento e projeto*</p> <p>wtPD02 = Ocupação do solo pelo tratamento (m²/m³)</p> <p>wtPD04 = Valorização atual da terra (Euro/m³)</p>

Legenda: *Literatura não apresentou a unidade do ID.

Fonte: Quadros *et al.* (2010); Silva *et al.* (2010); Silva *et al.* (2011); Rosa *et al.* (2010).

3.2.2 Swedish Water & Wastewater Association (SWWA)

Desde 2003, a *Swedish Water & Wastewater Association* (SWWA) realiza a coleta e compilação de dados de prestadoras de serviços de água e esgotos de 290 municípios suecos a partir da utilização de um sistema de plataforma na internet chamado VASS. Inicialmente o sistema foi projetado para a coleta de dados operacionais, como taxas de desempenho e ativos do município.

Em 2009, o Comitê de Águas Residuárias da SWWA expressou a necessidade de um sistema para o recolhimento de dados sobre operação e economia de estações de tratamento de esgotos (ETE) e iniciou um projeto com a finalidade de criar um sistema de ID para facilitar uma análise comparativa tanto entre ETEs suecas quanto entre ETEs de outros países. Tais IDs devem atender tanto o gestor quanto o operador, e além disso, devem, dentro do possível, compensar as diferenças de condições de operação existentes entre os sistemas (BALMÉR e HELLSTRÖM, 2012).

Diante de tal necessidade, Balmér e Hellström (2011) apresentaram uma proposta de um conjunto de IDs para a caracterização da operação de uma ETE abrangendo diversas dimensões como: qualidade dos efluentes, lodo, energia, produtos químicos e aspectos econômicos (Tabela 3.13). Neste contexto, discute-se também sobre a verificação da qualidade dos dados e a utilização de informações de contexto.

Tabela 3.13 – Tentativa de elaboração de um conjunto de indicadores de desempenho para a caracterização da operação de ETE

Dimensão	Exemplo de ID
ID sobre carga	Cargas específicas (kg /p.e. / ano de DBO, DQO, COT, P e N)
ID sobre qualidade dos efluentes	Porcentagem de remoção de DBO, DQO, COT, P, N e PCO ⁽¹⁾ Descargas (kg / p.e. / ano de DBO, DQO, P, N e PCO)
ID sobre lodo e qualidade do lodo	Produção de lodo (kg sólidos secos/p.e./ano) Qualidade de lodo (mg de contaminante/ hab. ligado à rede de coleta / ano)
ID sobre energia	Energia comprada (kWh / p.e. / ano) Energia vendida (kWh / p.e. / ano) Energia líquida utilizada (kWh / p.e. / ano) Energia elétrica total utilizada (kWh / p.e. / ano) Energia elétrica utilizada para aeração (kWh / p.e. / ano) Energia elétrica utilizada para aeração (kWh / kg demanda de oxigênio) Energia elétrica utilizada em outras etapas biológicas (kWh / p.e. / ano) Produção de biogás (kWh / p.e. / ano) Produção de biogás (kWh / kg DQO recebido na ETE) Produção de biogás como (kWh / kg DQO consumida nos digestores)

Continua.

Dimensão	Exemplo de ID
ID sobre consumo de produtos químicos	Consumo de precipitantes (mol de metal / p.e. / ano) Consumo de precipitantes (mol de metal / mol de P) Consumo de polímeros para a desidratação (kg / p.e. / ano) Consumo de polímeros para a desidratação (kg sólidos secos / t) Consumo de fonte de carbono para desnitrificação (kg DQO / p.e./ ano e kg DQO/ kg N desnitrificado)
ID sobre pessoal	Total de pessoal (N ^o /10000 p.e.) Pessoal nas operações (N ^o /10000 p.e.)
ID sobre aspectos econômicos	Custo operacional total e líquido (coroa sueca / m ³ de consumo de água faturado) Custo de operação total e líquido (coroa sueca / p.e. / ano) Custo de operação total e líquido (coroa sueca / kg PCO removido) justado operação total e líquido (coroa sueca / p.e. / ano) Principais custos operacionais (coroa sueca / p.e. / ano) Custos para os itens: pessoal total, pessoal operacional, serviços externos exceto os serviços de laboratório e descarte de lodo, serviços externos de laboratório, disposição final do lodo, energia elétrica, calor, precipitantes, fonte de carbono, polímeros, peças sobressalentes e outros consumíveis, todos os custos de administração e central (coroa sueca / p.e. / ano)

Legenda: ⁽¹⁾PCO: potencial de consumo de oxigênio, é usado como uma medida da carga total sobre o corpo receptor. É calculado como $DQO+100*P \text{ total}+18*N \text{ total} - 4,5*NO_3-N$.

Fonte: Balmér e Hellström (2011).

Com a finalidade de se tornarem os ID comparáveis, os cálculos destes devem ser quantitativamente ajustados em função das diferenças locais. Como exemplo são citadas as seguintes situações (BALMÉR E HELLSTRÖM, 2012):

- Estações com recebimento de lodos de estações menores e efluentes de fossas sépticas.
- Consumos energéticos variados em função do sistema de tratamento de cada ETE e outras características como a necessidade de utilização de bombas para recalque do efluente e de sistema de aeração para nitrificação, dentre outras. Para compensar tais diferenças, os autores recomendam o ajuste dos dados para a quantidade de quilowatts-horas necessários para realização da operação que demanda energia, assim pode-se trabalhar com kWh por população equivalente e ano. Acredita-se que, desta forma, o ID não será perfeito, mas será mais relevante.
- Funcionários de uma ETE responsáveis, também, por estações elevatórias externas à ETE ou grupo de funcionários responsável por mais de uma ETE. Ou, em ETES maiores, a equipe de funcionários pode ser dedicada a atividades de gestão e planejamento, enquanto em ETES menores essas atividades podem ser realizadas por consultores. Para se obter IDs de pessoal e de custo e receita comparáveis, é necessário considerar questões que esclareçam tais situações.

Balmér e Hellström (2012) afirmam que a qualidade dos dados coletados necessita ser checada. Como exemplo, informam que cargas *per capita* e massa seca de lodo *per capita* podem ser comparadas com níveis médios documentados. Com relação aos fatores de contexto, os autores informam que armadilhas nas comparações entre as ETEs podem ser evitadas a partir da utilização dos mesmos, sendo a maioria deles do tipo sim/não ou descritivo como é o caso da configuração da ETE e do volume total tratado da bacia.

Verifica-se que a proposição do sistema de IDs para caracterização de ETEs pela SWWA apresenta-se em conformidade com recomendações da ISO e da IWA, pois, além de considerar diversas dimensões, procura agregar ao sistema informações de contexto e verificação da qualidade dos dados.

3.2.3 Austrian Water and Waste Association

Conforme Lindtner *et al.* (2008), o sistema austríaco para avaliação de desempenho e *benchmarking* de estações de tratamento de esgotos (*Austrian System*) iniciou seu desenvolvimento em 1999 e começou a ser operado em 2004 por uma plataforma na internet. No ano de 2008, mais de 80 estações de tratamento eram avaliadas pelo *Austrian System*.

A cooperação entre a “*Austrian Water and Waste Association*” (AWWA), duas empresas privadas de consultoria, uma técnica (k2W) e outra para o desenvolvimento econômico de processamento de dados (Quantum), e um instituto universitário (Instituto de Qualidade da Água, da Universidade Tecnológica de Viena) faz com que o sistema austríaco seja único. Seus principais objetivos são o desenvolvimento de indicadores de processos, a identificação do melhor desempenho e a determinação de potenciais de redução de custos (LINDTNER *et al.*, 2008). Espera-se que, comparando-se o desempenho de uma ETE com valores de referência, uma otimização e potencial redução de custos das demais ETEs possam ser alcançados.

Os procedimentos de *benchmarking* adotados no sistema austríaco compreendem quatro etapas, sendo elas:

- aquisição dos dados por meio de uma plataforma de internet;
- avaliação dos dados, armazenamento em um banco de dados e divulgação dos mesmos;

- cálculo dos indicadores de desempenho adotados e;
- um intercâmbio organizado de experiências dos gerentes de estações de tratamento.

Os indicadores adotados pela AWWA se dividem entre IDs de eficiência e de eficácia, conforme a Tabela 3.14 e a Tabela 3.15, respectivamente. Além disso, também são consideradas três categorias principais de IDs: financeira, técnica e de processos. Os indicadores financeiros relacionam custos para processos específicos, enquanto os indicadores técnicos correlacionam dados técnicos específicos. Os indicadores de processo interagem com os indicadores técnicos, trazendo informações sobre o desempenho do sistema.

O sistema adota IDs que podem ser utilizados para avaliação de uma ETE de modo geral, marcados na coluna ETE das tabelas citadas anteriormente, ou para etapas específicas do processo, sendo os processos identificados como:

- 1: Bombeamento e pré-tratamento mecanizado;
- 2: Tratamento biológico mecanizado;
- 3: Espessamento e estabilização do lodo (3.1: Espessamento, 3.2: Estabilização);
- 4: Tratamento complementar do lodo e disposição (4.1: Secagem, 4.2: Tratamento e disposição).

Tabela 3.14 – Indicadores de desempenho de estações de tratamento de esgotos adotados pelo sistema austríaco para avaliação da eficiência.

IDs de Eficiência	Processo						ETE
	1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	
Indicadores Técnicos							
Consumo específico de energia [kWh/e.p.-DQO-110/ano]	X	X	X	X	X	X	XX
Consumo específico de energia [kWh/t-(excesso) lodo-lodo úmido]	-	-	X	-	X	X	-
Consumo específico de energia para aeração [kWh/e.p.-DQO-110/ano]	-	X	-	-	-	-	X
Consumo específico de energia para aeração [kWh/DQO degradada/ano]	-	X	-	-	-	-	X
Energia padronizada de bombeamento [kWh/m ³ /m]	X	X	-	-	-	-	X
Energia específica de mistura [W/m ³]	-	X	-	X	-	-	-
Tempo de execução [h/d]	-	-	X	-	X	-	-
Utilização da capacidade [%]	-	X	X	-	X	-	XX

Continua.

IDs de Eficiência	Processo						
	1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	ETE
Indicadores Financeiros							
Custo específico do processo [Euro/e.p.-DQO110]	XX	XX	XX		XX		X
Custo específico de material [Euro/e.p.-DQO110]	X	X	X	X	X	X	X
Custo específico de trabalho [Euro/e.p.-DQO110]	X	X	X	X	X	X	XX
Custo específico externo (terceirizados) [Euro/e.p.-DQO110]	X	X	X	X	X	X	X
Custo específico de energia [Euro/e.p.-DQO110]	X	XX	X	X	X	X	X
Custo específico de tratamento de resíduos [Euro/e.p.-DQO110]	X	X	X	X	X	X	X
Outros custos específicos [Euro/e.p.-DQO110]	X	X	X	X	X	X	X
Custo específico de tratamento de resíduos [Euro/ton. material retido nas grades]	X	-	-	-	-	-	X
Custo específico de tratamento de resíduos [Euro/ton. material removido nos desarenadores]	X	-	-	-	-	-	X
Custo específico de tratamento de resíduos [Euro/ton. lodo úmido]	-	-	-	-	-	X	XX
Custo específico para condicionamento de lodo [Euro/ton. agente condicionador]	-	-	X	-	X	-	X
Custo específico de energia [Euro/kWh]	-	-	-	-	-	-	X
Custo específico para condicionamento de lodo [Euro/ton. (excesso) lodo -lodo úmido]	-	-	X	-	X	-	X

Legenda:

X: Etapa em que se recomenda a utilização do ID.

XX: Etapa em que o ID é considerado chave.

e.p.-DQO110: a DQO foi utilizada como base uma vez que, ao contrário da DBO, um balanço de massa pode ser feito com este parâmetro, o que pode ser uma ferramenta para se verificar a plausibilidade dos dados (110g (-120g) DQO/e.p./d é equivalente a 60g DBO/e.p./d).

e.p.: equivalente populacional.

Fonte: Lindtner (2004).

Tabela 3.15 - Indicadores de desempenho de estações de tratamento de esgotos adotados pelo sistema austríaco para avaliação da eficácia.

IDs de Eficácia	Processo						
	1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	ETE
Indicadores Técnicos							
Produção específica de material retido na grade [kg/(e.p.-DQO110*ano)]	X	-	-	-	-	-	X
Produção específica de graxa [m³/(e.p.-DQO110*a)]	X	-	-	-	-	-	X
Produção específica de material nos desarenadores [kg/(e.p.-DQO110*ano)]	X	-	-	-	-	-	X
Produção específica de excesso de lodo [g sólido seco/(e.p.-DQO110*d)]	-	X	-	-	-	-	-
Produção específica primária de lodo [g sólido seco/(e.p.-DQO110*d)]	-	X	-	-	-	-	-
Produção de energia elétrica [kWh/m³-gas/ano]	-	X	-	-	-	-	X
Consumo específico do agente precipitante como valor-beta [mol de gradiente ativo/mol P-precipitável]	-	X	-	-	-	-	X
Eficiência de remoção da sedimentação primária [%]	-	X	-	-	-	-	-
Sólidos secos - lodo espesso [%]	-	-	X	-	X	-	-
Consumo específico de agente coagulante [kg ingrediente ativo / ton. sólido seco]	-	-	X	-	X	-	-
Fator de coagulação [sólido seco - saída/sólido seco-entrada]	-	-	X	-	X	-	-
Acumulação específico do gás do digestor [L/(e.p.-DQO110*d)]	-	-	-	X	-	-	-
Sólidos voláteis do lodo estabilizado [%]	-	-	-	X	-	-	-
Eficiência de remoção [%] DQO, DBO, N e P	-	-	-	-	-	-	X
Concentrações do efluente DQO, DBO, N e P [mg/L]	-	-	-	-	-	-	X
Indicadores de Processo							
Índice de lodo [mL/g]	-	X	-	-	-	-	-
DBO/DQO [-]	-	X	-	-	-	-	-
Idade do lodo [d]	-	X	-	-	-	-	-
Idade do lodo aeróbico [d]	-	X	-	-	-	-	-
Tempo de retenção hidráulica da sedimentação primária [h]	-	X	-	-	-	-	-
Tempo de residência na digestão anaeróbia [d]	-	-	-	X	-	-	-
Carga orgânica por volume [kg SSV/m³/d]	-	-	-	X	-	-	-
Sólidos secos específicos [g sólidos secos/(e.p.-DQO110*d)]	-	-	-	X	X	-	-
SSV específicos [g SSV/(e.p.-DQO110*d)]	-	-	-	X	X	-	-
Produção específica de lodo [g lodo úmido/(e.p.-DQO110*d)] processo saída	-	-	-	X	X	-	XX

Legenda: idem Tabela 3.14.

Fonte: Lindtner (2004).

Vale ressaltar que Lindtner *et al.* (2008) informam que a qualidade dos dados é um dos fatores chave para obter resultados representativos. Dessa forma, a avaliação dos dados inicia-se com a verificação da plausibilidade dos mesmos. Exemplos de ferramentas utilizadas são os balanços de massa para sólidos, nitrogênio e fósforo.

3.2.4 Uma proposta da Universidade de Brasília (UnB) para avaliação do desempenho de ETEs do Distrito Federal

Brostel (2002), com a finalidade de realizar análise comparativa do desempenho de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal, apresenta proposição de indicadores considerando questões de sustentabilidade ambiental e simplicidade operacional, aliadas às tradicionais medidas de eficiência econômica e eficiência operacional.

Nesse trabalho foram definidos dois grupos de critérios: os critérios econômicos e os critérios tecnológicos, sendo que nos dois grupos foram incluídos indicadores que tratavam dos aspectos ambientais e da operacionalidade da ETE. Os referidos indicadores são apresentados na Tabela 4.21. Os índices apresentados foram estabelecidos a partir dos dados levantados nos relatórios mensais da área de Operação e no relatório Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal (SIESG), produzido pela área de planejamento da Diretoria de Sistemas de Esgotos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb).

Tabela 4.21 – Indicadores adotados na avaliação de ETEs do Distrito Federal.

Indicadores segundo o critério econômico	Faixa de Variação dos Indicadores
Custo de Operação/ m ³ tratado	R\$0,10 a 1,33
Custo de Operação/ kg de DQO removida	R\$0,13 a 1,79
Custo de Implantação/ habitante de projeto	R\$29,63 a 726,88
Custo de Operação/ habitante atual	R\$0,21 a 3,85
Custo de Energia e de Produtos Químicos/ kg de DQO removida	R\$0,13 a 1,66
Custo de Manutenção/ habitante atual.	R\$0 a 0,36
Indicadores segundo o critério tecnológico	Faixa de Variação dos Indicadores
Consumo de energia/ kg DQO removida	0,01 a 4,76 kWh/kg DQO removida
Eficiência de remoção de DBO	69 a 94%
Eficiência de remoção de DQO	79 a 98%
Número de motores elétricos/1000 habitante de projeto	0,10 a 1,77unid./1000 habitantes
Número de intervenções de manutenção/ 1000 hab. de projeto	0 a 0,51 unid./1000 habitantes
Produção de lodo/ kg de DQO removida	0 a 1,0 kg de lodo/kg de DQO removida
Área da ETE/1000 hab. Projeto	0,04 a 0,59 ha/1000 habitantes

Fonte: Brostel *et al.* (2001).

Além dos indicadores apresentados na tabela, no referido trabalho, foram também avaliados alguns critérios complementares que dizem respeito principalmente ao enquadramento da unidade sob o ponto de vista ambiental, quando analisado sob ótica de sustentabilidade global, em face aos problemas globais que o Planeta vem enfrentando. Neste aspecto procurou-se enfocar principalmente (BROSTEL, 2002):

- O aspecto energético do processo de tratamento, considerando a limitada oferta de energia que o planeta tem a oferecer, nos moldes atuais de consumo.
- O aspecto da geração de CO₂, contribuindo para o efeito estufa na atmosfera.
- O aspecto da biodiversidade, ressaltando processos que podem contribuir, pelo menos parcialmente, para sua preservação.
- O aspecto do uso do solo, ressaltando práticas brandas de utilização do solo, que permitam uma menor agressão ao ambiente natural.

3.3 Metas para avaliação de estações de tratamento de esgotos

Duas legislações brasileiras estabelecem condições e padrões de lançamento de efluentes, a Resolução CONAMA 357/2005 e a Resolução CONAMA 430/2011, sendo que a última complementa e altera a primeira. Ambas são insuficientes para uma avaliação mais detalhada do desempenho de estações de tratamento de esgotos, ou por não incluir padrões de qualidade para alguns dos parâmetros investigados, como é o caso de fósforo e coliformes termotolerantes, ou por ter valores limites pouco restritivos para determinados parâmetros. Um exemplo disto pode ser observado para o parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO), para o qual não se tem uma concentração máxima permitida, mas sim uma eficiência de remoção mínima de 60% para sistema de tratamento constituído por qualquer processo.

Dessa forma, no presente estudo, decidiu-se adotar como base para a determinação de metas, o Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (Prodes).

Conforme Oliveira (2006), o Prodes foi criado em 2001 pela Agência Nacional de Águas (ANA) com a finalidade de incentivar a implantação de ETEs em todo o Brasil, de reduzir os níveis de poluição hídrica no país, e ao mesmo tempo induzir a constituição do sistema de gestão de recursos hídricos, mediante a organização dos comitês de bacias e a instituição da cobrança pelo direito de uso da água.

Este programa objetiva estimular prestadores de serviço de saneamento a implantação e operação de estações de tratamento de esgotos por meio do pagamento aos prestadores de serviço de saneamento pelo esgoto tratado. Para se habilitar ao recebimento do auxílio, o empreendedor deve estabelecer metas de abatimento de carga poluidora, correspondente ao tipo de sistema a ser instalado, e comprovar a eficácia do sistema. Para isto, a ANA elaborou uma tabela que estabelece os indicadores e as metas de abatimento de carga poluidora para inclusão em padrões de eficiência de tratamento. O Prodes também estabelece valores *per capita* de referência, em função da população equivalente atendida, como apresentado na Tabela 3.16 (Oliveira, 2006).

Tabela 3.16 – Indicadores adotados no Prodes e valores de referência.

Implantação de estações de tratamento de esgotos sanitários – ETE									
Indicador ⁽³⁾	Padrões de eficiência para tratamento de esgotos (em níveis mínimos de abatimento das cargas poluidoras afluentes)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
DBO	30%	60%	75%	85%	85%	90%	90%	90%	90%
SST	40%	60%	75%/60% ⁽¹⁾	85%/60% ⁽¹⁾	85%/60% ⁽¹⁾	90%	90%	90%	90%
CF					99,999%		99,999%		99,999%
PT								85%	85%
e/ou								e/ou	e/ou
NTK								80%	80%
Pop. equivalente (hab.) ⁽²⁾	Valores <i>per capita</i> de referência (R\$/hab.)								
até 10.000	20	35	55	80	85	100	105	120	125
de 10.001 a 20.000	20	30	50	70	75	90	95	110	115
de 20.001 a 50.000	15	25	45	60	65	80	85	100	105
de 50.001 a 100.000	10	20	40	55	60	75	80	95	100
de 100.001 a 200.000	10	20	40	55	60	75	80	95	100
acima de 200.000	10	20	40	55	60	75	80	95	100

Obs.: (1) 60% somente para os tratamentos que contemplem lagoas produtoras de algas.

(2) Carga média diária de DBO de projeto da ETE dividida por uma carga média per capita de 54g DBO/dia.

(3) DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST = Sólidos Suspensos Totais; CF = Coliformes. Termotolerantes; PT = Fósforo Total; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl.

Fonte: ANA (2002).

Nessa tabela são considerados nove padrões de eficiência (de A a I) que identificam os percentuais de abatimento dos indicadores DBO, SST, CF, PT e NTK, e, para cada padrão de eficiência, os valores *per capita* são correlacionados com a população equivalente atendida.

As eficiências de remoção variam, dentro de um intervalo, para cada sistema de tratamento considerado, e Oliveira (2006) propõe interpretação dos padrões de eficiência do Prodes conforme a seguir:

- Padrão A: tratamento primário (ex: tanques sépticos, decantação primária convencional).
- Padrão B: tratamento secundário de baixa eficiência na remoção de DBO (ex: reatores UASB).
- Padrão C: tratamento secundário de eficiência entre baixa e intermediária na remoção de DBO (ex: lagoas facultativas, lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas, reatores UASB seguidos de alguns tipos de pós-tratamento, tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios).
- Padrão D: tratamento secundário de eficiência intermediária na remoção de DBO (ex: escoamento superficial, reatores UASB seguidos de alguns tipos de pós-tratamento).
- Padrão E: tratamento secundário de eficiência intermediária na remoção de DBO, mas incorporando remoção de organismos patogênicos (ex: lagoas de estabilização seguidas de lagoas de maturação, tanque séptico + infiltração, infiltração lenta, infiltração rápida).
- Padrão F: tratamento secundário de alta eficiência na remoção de DBO (ex: reatores UASB seguidos de alguns tipos de pós-tratamento, lodos ativados convencional e variantes, filtros biológicos percoladores de baixa e alta taxa, biofiltros aerados submersos).
- Padrão G: tratamento secundário de alta eficiência na remoção de DBO, e incorporando remoção de organismos patogênicos (ex: infiltração rápida, tanque séptico + infiltração, lodos ativados convencional + filtração terciária, processos do Padrão F seguidos por desinfecção).
- Padrão H: tratamento secundário de alta eficiência na remoção de DBO, seguido por tratamento terciário para remoção de nutrientes (ex: infiltração lenta, lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, UASB + flotação por ar dissolvido).
- Padrão I: idem Padrão H, mas incorporando remoção de organismos patogênicos (ex: processos do Padrão H seguidos por desinfecção).

4 METODOLOGIA

O fluxograma de apresentação dos procedimentos metodológicos adotados para se alcançar os objetivos da pesquisa é apresentado na Figura 4.1. Em seguida são detalhadas as etapas de tais procedimentos.

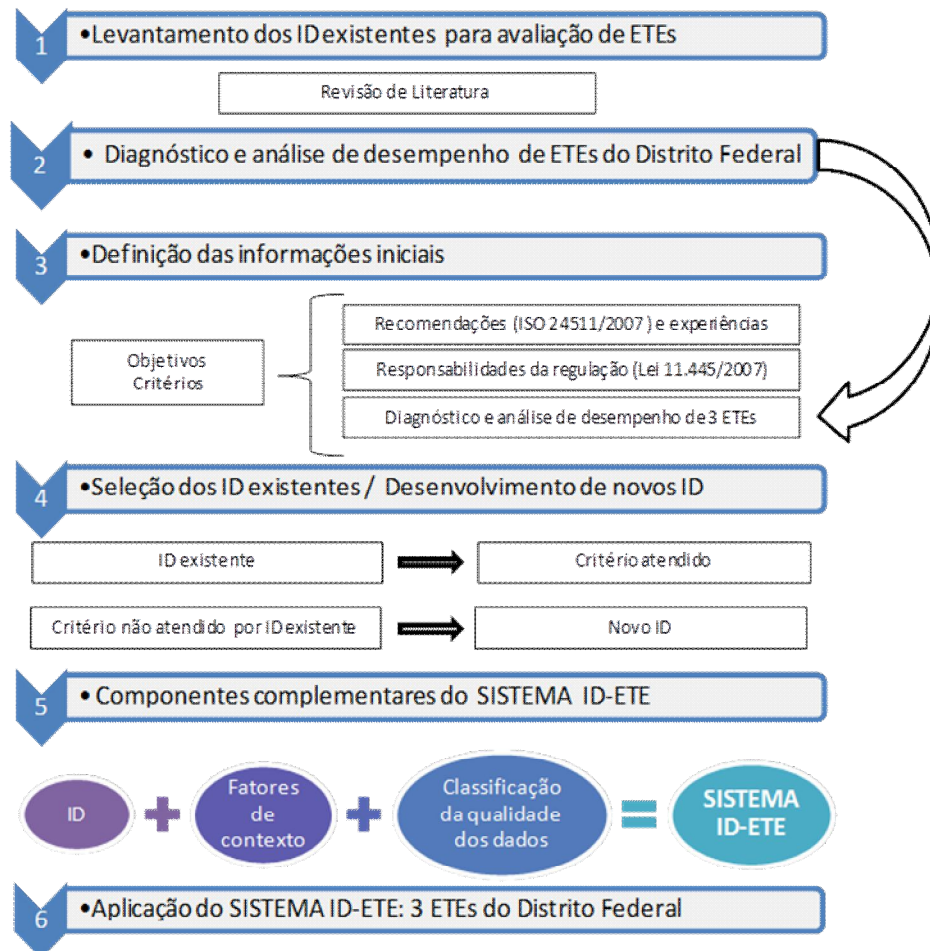


Figura 4.1 – Fluxograma de apresentação dos procedimentos metodológicos.

4.1 Levantamento dos indicadores de desempenho existentes

Primeiramente realizou-se um levantamento detalhado, na literatura, dos indicadores de desempenho utilizados para avaliação de estações de tratamento de esgotos pelas principais organizações nacionais e internacionais na área do saneamento.

Observou-se, dentre os IDs levantados, alguns que se assemelham em aspectos relevantes como mesmo cálculo ou mesma finalidade. Dessa forma, IDs coincidentes foram agrupados e,

para cada conjunto de IDs, identificou-se o mais adequado conforme definições e características necessárias em um ID apresentadas na Tabela 3.1, como por exemplo, ser claro e suficiente.

4.2 Diagnóstico e análise de desempenho das estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal

Para subsidiar a proposição de indicadores de desempenho, realizou-se o diagnóstico e análise de desempenho de três estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal. Dessa forma, foi possível compreender, de modo mais aprofundado, o funcionamento, comportamento e desempenho das referidas estações.

Foram obtidas informações referentes às características do esgoto bruto e tratado, ao uso de produtos químicos e potência consumida nas estações, aos custos operacionais totais e discriminados e à quantificação do volume de lodo gerado nos processos de tratamento de esgotos. A avaliação global do desempenho de cada ETE se baseou nas atividades descritas a seguir.

Vale ressaltar que, ao final, realizou-se uma análise comparativa do desempenho das ETEs de forma a consolidar o diagnóstico realizado, a partir de estudos de séries temporais e estatísticas descritivas.

4.2.1 Seleção das ETEs, caracterização e visita técnica

Visando conhecer a realidade local do tratamento de esgotos e a disponibilidade de dados operacionais para a criação dos futuros indicadores, foram selecionadas três ETEs do Distrito Federal como objeto de estudo da presente pesquisa. A seleção das ETEs ocorreu em função do objetivo de se trabalhar com ETEs de portes e processos de tratamento diferentes entre si. Além disso, foi considerada a facilidade da Caesb na disponibilização dos dados necessários e na realização das visitas técnicas.

A caracterização das ETEs foi realizada a partir do documento Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal (SIESG), de 2011. O SIESG é um relatório da Diretoria de Operação e Manutenção da Caesb, em que se encontram consolidadas diversas informações referentes aos sistemas de esgotamento sanitário do Distrito Federal (CAESB, 2011).

As visitas técnicas, com participação de equipes da Adasa, UnB e UFMG, as quais foram recebidas pela equipe da Caesb, ocorreram nos dias 01 e 02 de março de 2012.

4.2.2 Análise dos dados de concentrações e eficiência de remoção

A avaliação de desempenho das três estações de tratamento do Distrito Federal foi desenvolvida tendo como base os dados obtidos pelo monitoramento realizado pela Caesb entre os anos de 2000 e 2011 para o afluente e o efluente final da ETE. Os parâmetros considerados foram demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos (SS), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-Amon), fósforo total (P tot) e coliformes termotolerantes (Colif Term). A frequência de monitoramento foi variável, em função do parâmetro de qualidade, sendo que alguns dados foram obtidos em frequências diárias, duas/três vezes por semana e semanal.

A análise dos referidos dados, tanto de concentrações dos constituintes dos esgotos quanto de eficiências de remoção, contemplou:

- Estatística descritiva: foram calculadas medidas de tendência central e dispersão, apresentadas em gráficos do tipo *box-whisker*.
- Séries temporais: mostram, de forma simples, a evolução histórica ao longo do tempo.
- Estudo da interferência da sazonalidade: a verificação da existência de diferença significativa se deu pela comparação entre as concentrações efluentes medidas no período seco (de abril a setembro) e no período chuvoso (de outubro a março). Foi utilizado o teste de hipótese U de Mann-Whitney, considerando um 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.

A realização de uma análise de desempenho preliminar das três estações de tratamento adotadas como objetos de estudo foi de grande relevância no desenvolvimento do sistema de indicadores de desempenho, uma vez que subsidiou determinações importantes nesse processo.

4.2.3 Determinação das metas de qualidade e avaliação do atendimento

A avaliação de cada ETE em estudo contou com a definição de metas de concentração, a serem alcançadas pelo efluente final, e metas de eficiência, a serem alcançadas de modo geral pelo sistema. Para determinação das referidas metas, foram consideradas:

- as metas determinadas pelo Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (Prodes) para os padrões em que se encontram os sistemas de tratamento em estudo;
- as metas internas adotadas pela Caesb, quando existentes;
- as condições das ETE observadas na visita técnica;
- as características do esgoto bruto e tratado e as eficiências de remoção do sistema.

Dessa forma, chegou-se a metas distintas para cada ETE, sendo mais restritivas que as legislações pertinentes, viáveis de serem alcançadas pelos processos de tratamento adotados e necessárias para conservação do corpo receptor.

Após determinação das metas, calculou-se a porcentagem de atendimento anual às mesmas, tendo sido, assim, possível inferir a respeito do comportamento dos parâmetros ao longo do tempo. Além disso, foram calculadas as porcentagens de atendimento de todo o período e, separadamente, do período seco e do período chuvoso. A verificação da interferência da sazonalidade se deu pelo teste de hipótese U de Mann-Whitney, considerando um nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), utilizando-se o software Statistica 6.1.

4.2.4 Análise de confiabilidade dos processos de tratamento

Complementando o tratamento estatístico dos dados, efetuou-se a análise de confiabilidade dos processos de tratamento. O coeficiente de confiabilidade (CDC) pode ser utilizado para estimar a confiabilidade das estações de tratamento, ou seja, a fração de tempo em que a concentração efluente não excede um certo valor padrão de referência previamente fixado (Oliveira, 2006).

O cálculo do coeficiente de confiabilidade relaciona valores das concentrações médias (como valores de projeto) ao padrão a ser alcançado em uma base probabilística. Se, por exemplo, um padrão (X_s) de 30 mg/L deve ser cumprido em 90% do tempo, o processo deve ser projetado e operado para alcançar uma concentração média efluente (m_x) tal que, mesmo com

a variabilidade presente, este percentual seja alcançado. O valor médio do constituinte, m_x , poderá ser obtido a partir da equação:

$$m_x = (\text{CDC}) X_s \quad (4.1)$$

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):

$$\text{CDC} = \sqrt{CV^2 + 1} \times \exp \left[-Z_{1-\alpha} \sqrt{\ln(CV^2 + 1)} \right] \quad (4.2)$$

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 ($1-\alpha$). 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 4.1 ($\text{CDC} = m_x/X_s$) e a equação 4.2, 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 .

$$Z_{1-\alpha} = - \frac{\ln \left[\frac{m_x}{X_s} \cdot \frac{1}{\sqrt{CV^2 + 1}} \right]}{\sqrt{\ln(CV^2 + 1)}} \quad (4.3)$$

$$\% \text{ atendimento} = 1 - \text{Dist.Normp.N} (Z_{1-\alpha}) \quad (4.4)$$

Onde:

% atendimento = percentual de atendimento ao padrão ou meta;

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

Dessa forma, para cada ETE em estudo, calcularam-se os percentuais de atendimento esperado pela equação 4.3 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.

4.2.5 Verificação da utilização da capacidade instalada

A verificação da utilização da capacidade instalada foi realizada a partir da relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto uma vez que não se obtiveram informações para uma verificação mais detalhada.

Sabe-se que o projeto de uma estação de tratamento se baseia em diversos critérios de projeto como capacidade hidráulica e cargas orgânicas e que não se pode avaliar as condições de carga a que a estação está submetida simplesmente pela análise da vazão. Além disso, mesmo que a vazão estivesse acima do valor de projeto, poderia ser que, por meio de práticas operacionais adequadas, a estação alcançasse uma ampliação de sua capacidade, com relação ao valor de projeto. No entanto, esta etapa de análise é importante subsídio para uma verificação expedita da utilização da capacidade instalada.

4.2.6 Avaliação da implantação de melhorias

Duas das três estações de tratamento estudadas passaram por melhorias no processo dentro do período estudado. Portanto, foi necessário verificar o impacto desta mudança no desempenho das estações e, dessa forma, se conhecer suas condições atuais.

A influência da melhoria no processo foi avaliada a partir de uma análise comparativa entre a estatística descritiva das concentrações efluentes, das eficiências de remoção e atendimento às metas referentes ao período anterior e o período posterior à sua implantação. Para verificar se as diferenças eram significativas entre ambos os períodos citados, foi utilizado o teste U de Mann-Whitney, considerando um nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), pelo uso do software Statística 6.1.

4.2.7 Avaliação da produção de lodo, consumo de energia e produtos químicos e custos

Para conhecimento das estações de forma integral, o presente estudo também considera a avaliação da produção de lodo, consumo de energia e de produtos químicos e custos. Para todas as variáveis trabalhou-se com dados obtidos entre os anos de 2000 e 2011.

A informação da produção de lodo das ETEs em estudo refere-se ao volume produzido mensalmente, em metros cúbicos ($m^3/mês$). Os produtos químicos utilizados nas ETEs em estudo, de modo geral, 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 de cada ETE é avaliado em função da potência consumida $kWh/mês$.

Com relação aos custos, a Caesb disponibiliza valores do custo total mensal e valores de custos discriminados entre pessoal, energia elétrica, laboratório, limpeza, conservação, vigilância, produtos químicos, material expediente, manutenção, serviços, e locação de transporte, para o período de 2003 a 2010. Apenas os custos com energia elétrica também foram discriminados para o período de 2000 a 2002.

Para avaliar o desempenho das ETEs em estudo foram considerados os seguintes custos: pessoal, energia elétrica, produtos químicos e custo total da unidade. Todos os custos foram reajustados para a data-base de janeiro de 2012. Para o reajuste dos referidos valores foram adotados índices recomendados pela Adasa e Caesb, constantes do contrato de concessão, sendo eles:

- IGPM (Índice Geral de Preços do Mercado), para custos com produtos químicos.
- Reajuste tarifário da Companhia Energética de Brasília (CEB), para custos com energia elétrica.
- INPC (Índice Nacional de Preços ao Consumidor) para custos com pessoal e demais custos (outros).

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*, e das séries temporais.

4.3 Definição das informações iniciais do SISTEMA ID-ETE

Conforme recomendações da ISO 24500, com a finalidade de subsidiar a determinação dos IDs constituintes do novo sistema, primeiramente foram estabelecidos os objetivos do referido sistema de IDs e, em seguida, foram elencados os critérios de avaliação das ETES. Para definição dos mesmos consideraram-se:

- as responsabilidades da regulação segundo a Lei 11.445/2007;
- as experiências exitosas de outras entidades;
- a avaliação de desempenho de três ETES objetos do presente estudo, e;
- uma proposição inicial, elaborada pela agência reguladora Adasa, de objetivos e critérios, tendo por base a ISO 24511.

4.4 Seleção e desenvolvimento dos IDs

De posse dos critérios de avaliação e dos IDs identificados na literatura, foi feita uma combinação entre os mesmos buscando-se, pelo menos, um ID para avaliar cada um dos critérios estabelecidos. Para aqueles critérios sem ID existente capaz de avaliá-los, IDs existentes foram adaptados.

A apresentação de cada ID é constituída por sua definição, nome, código relacionado ao objetivo, descrição de seu cálculo (numerador e denominador) e de sua unidade. Também foram determinadas informações complementares como frequência de cálculo do ID e de obtenção dos dados necessários em seu cálculo e o sentido de preferência. Este último indica como devem ser interpretados os valores dos IDs. Quando o sentido é crescente, quanto maior o valor do ID, melhor o desempenho da estação para o critério avaliado. Já para o sentido decrescente, quanto menor o valor do ID, melhor é o desempenho da estação.

Os códigos dos IDs são compostos por uma sequência de três letras seguida por dois algarismos. A primeira letra representa o tipo de estação a que o ID se refere, sendo esta, no presente estudo, portanto, a letra “E”, referente a ETE. As duas letras que seguem estão associadas com o objetivo do ID. Os dois algarismos compõem uma sequência numérica visando identificar cada ID dentro de cada objetivo.

Para todos os IDs, foram definidas as informações necessárias para seu cálculo e interpretação, conforme exemplificado a seguir.

EPA-11 – Percentual de atendimento às metas de concentração efluente – Global

Numerador: *Somatório das médias mensais dos percentuais de atendimento às metas de concentração de cada parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra no mês*

Denominador: *Número de parâmetros adotados pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

4.5 Componentes complementares do SISTEMA ID-ETE

É recomendado, pela ISO 24511 de 2007, pela IWA (MATOS *et al.*, 2003) e outras organizações, que um sistema de indicadores de desempenho apresente, além dos IDs, mais dois componentes: um conjunto de informações de contexto e um método de classificação da qualidade dos dados. Dessa forma, estudou-se agregar tais componentes ao sistema de indicadores de desempenho de estações de tratamento de esgotos a ser desenvolvido pelo presente estudo, denominado SISTEMA ID-ETE.

4.5.1 Fatores de contexto

Os fatores de contexto referem-se às condições inerentes ao sistema avaliado, tanto no âmbito espacial quanto no âmbito da gestão, capazes de auxiliar a interpretação dos resultados obtidos pelos IDs. Os fatores de contexto necessários de serem considerados na avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de esgotos foram elencados e, aqueles que se diferenciavam para as ETEs em estudo foram identificados.

4.5.2 Classificação da qualidade dos dados

A qualidade dos dados foi avaliada de forma qualitativa uma vez que não há informações suficientes para se classificar quantitativamente a precisão e confiabilidade dos mesmos, conforme recomendações da ISO 24511.

4.6 Aplicação

A aplicação do SISTEMA ID-ETE para três ETEs de processos e portes distintos, as ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião, têm como finalidade verificar a necessidade de realização de ajustes no sistema desenvolvido, bem como sua aplicabilidade.

Para aplicação do sistema de indicadores desenvolvido, foi necessário, primeiramente, identificar quais indicadores de desempenho poderiam ser calculados no âmbito do presente estudo. Dessa forma, todos os IDs foram classificados em função da disponibilidade dos dados necessários para cálculo nos seguintes tipos:

- *Disponível*: ID passível de determinação a partir dos dados disponibilizados para o presente estudo pela prestadora de serviços.
- *Possível*: ID cujos dados para determinação possivelmente estão disponíveis na prestadora de serviços, mas não foram disponibilizados para o presente estudo.
- *Medição*: ID que, para ser calculado, a prestadora de serviços deverá envidar esforços para a obtenção dos dados necessários em seu cálculo.

Os IDs que receberam a classificação *disponível* foram utilizados para avaliação das estações de tratamento Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião. Os resultados obtidos para cada ETE foram analisados a partir das séries temporais e estatística descritiva dos resultados obtidos. Em seguida foi feita uma análise comparativa entre os resultados obtidos para cada estação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo, optou-se por apresentar, primeiramente, os resultados obtidos pela análise de desempenho das três estações de tratamento de esgotos adotadas como objeto de estudo da pesquisa. Em seguida, discorre-se sobre todos os resultados referentes ao desenvolvimento do SISTEMA ID-ETE. Por último, apresenta-se a aplicação do sistema de avaliação desenvolvido.

5.1 *Diagnóstico e análise de desempenho das estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal*

Dentre as 17 estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal, as ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião foram selecionadas como objetos do presente estudo por apresentarem processos e portes distintos, bem como por serem estações bem monitoradas, com disponibilidade de dados satisfatória. A Tabela 5.1 apresenta uma síntese das características operacionais de cada uma delas.

Tabela 5.1 – Características das ETEs selecionadas.

ETE	Processo	Vazão média de projeto
Brasília Norte	Lodos ativados convencional - remoção biológica de nutrientes - polimento físico-químico	920 L/s
Samambaia	Reatores UASB inseridos na zona de entrada de lagoas facultativas - lagoas de alta taxa - lagoas de maturação - polimento final por flotação	284 L/s
São Sebastião	Reatores UASB - rampas de escoamento superficial - duas lagoas de maturação em série	226 L/s

A seguir apresenta-se uma avaliação global do desempenho de cada uma das três estações de tratamento em estudo e, para síntese das referidas informações, uma análise comparativa entre as mesmas é desenvolvida.

5.1.1 ETE Brasília Norte

5.1.1.1 Caracterização e visita técnica

Conforme Caesb (2011), a Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte foi projetada para atender uma população de cerca de 250 mil habitantes, com capacidade para vazão média de 920 L/s. Seu sistema é constituído por lodos ativados convencional com remoção biológica

de nutrientes (nitrogênio e fósforo) seguida de polimento físico-químico final (flotação), sendo seu corpo receptor o lago Paranoá.

Os esgotos sanitários são coletados e encaminhados por gravidade e por bombeamento para a entrada da estação, onde a carga hidráulica afluyente ao tratamento é controlada por uma comporta, podendo, em parte, ser desviada para um sistema de estocagem de esgoto bruto. Este sistema, que iniciou sua operação em junho de 2005, funciona como uma equalização de vazão e utiliza-se das estruturas da ETE Brasília Norte antiga. O volume estocado retorna ao processo principal, por bombeamento, nos horários de baixa carga hidráulica. Esta sistemática ocorre no tratamento preliminar, onde são retirados os materiais grosseiros (estopa, plástico, lixo) e areia. Segundo informações da equipe da Caesb, após o início de funcionamento da equalização não houve mais necessidade de realizar *by-pass* do esgoto bruto para o lago Paranoá, em condições de grande aumento da vazão afluyente (chuvas torrenciais) ou falta de energia elétrica. Houve comentários da equipe da Caesb com relação à qualidade do fornecimento da energia elétrica (interrupções e oscilações), que tem causado problemas com o funcionamento dos sopradores, responsáveis pelo suprimento de ar aos reatores biológicos.

Nos decantadores primários, fase seguinte do processo, os esgotos são separados em duas fases, sólida e líquida. A fase sólida é bombeada para os adensadores de lodo por gravidade e destes para os digestores anaeróbios, onde bactérias digerem a fração orgânica do lodo. A fase líquida, ainda com quantidade considerável de matéria orgânica, é encaminhada ao tratamento biológico, onde microorganismos aeróbios, anaeróbios e facultativos assimilam a matéria orgânica e os nutrientes através do processo de nitrificação e desnitrificação e "luxury uptake" (remoção de fósforo).

Nos decantadores secundários, os microorganismos oriundos dos reatores biológicos são separados do líquido já tratado nos decantadores secundários e retornam ao reator para continuação do processo. Uma pequena fração segue para a etapa de tratamento do lodo, para serem adensados por flotação, encaminhados aos digestores anaeróbios e após um período de aproximadamente 40 dias de digestão, para a desidratação mecanizada.

O líquido sobrenadante, que constitui o efluente dos decantadores secundários, segue para o polimento final, onde os sólidos e fósforo remanescentes são removidos por meio dos processos de floculação, com adição de produtos químicos (sulfato de alumínio e polieletrólito aniônico) e separação por flotação por ar dissolvido. Vale ressaltar que, devido a

vazão média afluyente ser bem inferior à vazão média de projeto e a existência de equalização, algumas unidades não necessitam estar em operação. No momento da visita, por exemplo, dos quatro reatores biológicos (tanques de aeração) existentes, apenas dois estavam em funcionamento.

Os sólidos separados e recolhidos por raspadores de superfície são bombeados para os digestores anaeróbios juntando-se com os outros lodos produzidos no processo, e o efluente líquido final lançado no lago Paranoá. O produto sólido produzido na estação (lodo de esgoto) é transportado por caminhões basculantes para ser utilizado em recuperação de cascalheiras e em silvicultura. Caso essas rotas não sejam possíveis ou suficientes, o excedente vai para uma área situada na ETE Samambaia.

Visando minimizar o impacto provocado pelas emissões de odor na ETE Brasília Norte, é realizada a dosagem de cloreto férrico na entrada da estação. Encontram-se em andamento as obras de controle de odor que irão cobrir as unidades críticas, coletar e tratar os gases. O gás gerado nos digestores anaeróbios não está sendo queimado, sendo mencionado pela equipe da Caesb um plano futuro de secagem térmica do lodo, com aproveitamento energético do biogás. Atualmente não há desinfecção do efluente final, mas há planos para se efetuar desinfecção de parte do efluente, uma vez que o mesmo é utilizado para uso interno na ETE.

Portanto, pela visita técnica verificou-se como a ETE Brasília Norte é altamente mecanizada e com fluxograma bastante complexo, em consonância com os objetivos de elevada eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo. Obteve-se a informação de que existem problemas nos decantadores secundários e na manutenção dos tanques de aeração, além de que a ETE recebe lodo de fossas. A equipe de operação da ETE Brasília Norte demonstrou grande conhecimento, envolvimento e comprometimento com o adequado funcionamento da estação. Além disso, observou-se haver um bom plano de monitoramento, com pontos de coleta intermediários. A Figura 5.1 apresenta o Fluxograma da ETE Brasília Norte e a Figura 5.2 mostra algumas das estruturas da ETE quando da visita em 01 de março de 2011.

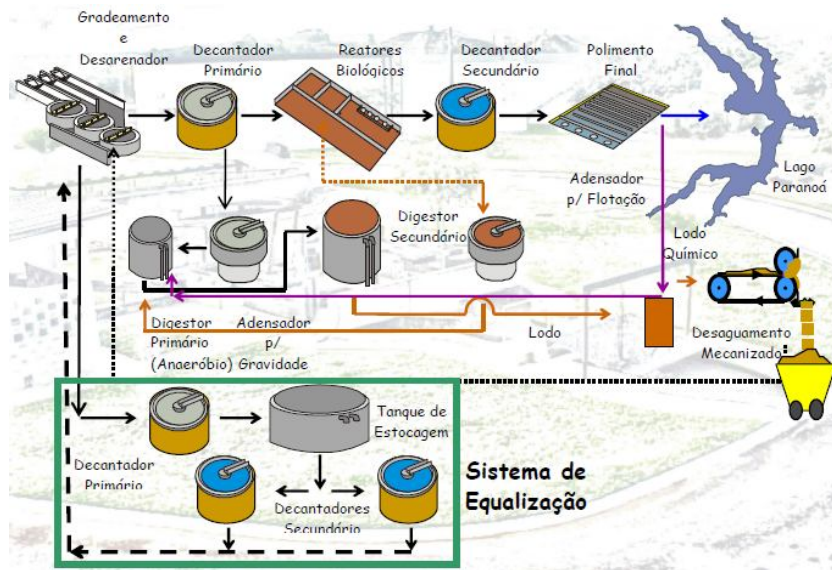


Figura 5.1 – Fluxograma da ETE Brasília Norte.
 Fonte: Caesb (2011).



Figura 5.2 – Estruturas da ETE Brasília Norte – Visita técnica.

5.1.1.2 Análise dos dados de concentrações e eficiência de remoção

Concentrações do Afluente e do Efluente

A Tabela 5.2 apresenta os resultados de uma avaliação estatística descritiva das características do afluente e do efluente da ETE Brasília Norte, cobrindo o período de 2000 a 2011. As estatísticas descritivas e as dispersões encontram-se, na forma de gráficos *box-whisker*, na Figura 5.3. Para complementação da análise, nos referidos gráficos, são apresentadas também as metas de concentração do efluente que são definidas e avaliadas no item 5.1.1.3. Além disso, a Figura 5.4 mostra as séries temporais das concentrações dos parâmetros considerados no presente estudo e da vazão. O estudo da interferência da sazonalidade é apresentado na Figura 5.5 e na Figura 5.6. Na primeira realiza-se uma comparação entre as médias das concentrações obtidas para o período seco, período chuvoso e todo o período monitorado, e na segunda apresentam-se os resultados obtidos pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$).

No conjunto de dados dos parâmetros NTK e P total, no afluente da ETE Brasília Norte, foram observados valores que se encontram fora de faixas razoáveis, sendo eles 580 mg/L em 25/07/2005 e 61 mg/L em 08/04/2001, respectivamente. Como são valores pouco confiáveis, foram desconsiderados no presente estudo.

Nota-se o elevado número de dados existentes para cada parâmetro analisado, o que aumenta bastante a confiabilidade das análises a serem efetuadas. A exceção ocorre para N amoniacal afluente, que, devido a isso, não está sendo considerado no estudo da influência da sazonalidade, e coliformes termotolerantes de modo geral.

As análises dos dados mostram o substancial decréscimo das concentrações efluentes, comparadas com as afluentes, para todos os parâmetros estudados. Como esperado, percebe-se que a vazão está diretamente relacionada à sazonalidade, uma vez que ocorre a redução do seu valor no período seco. Devido a isso, nota-se certo aumento na maioria das concentrações afluentes dos parâmetros analisados neste período. Deve-se lembrar que a ETE Brasília Norte dispõe de dispositivo de equalização, que permite armazenar vazões excedentes nas unidades da antiga estação, minimizando os impactos da sobrecarga hidráulica. Dessa forma, nota-se que as concentrações de DQO, sólidos suspensos, NTK, N amoniacal e P total são significativamente superiores no período seco.

Tabela 5.2 – Estatísticas descritivas referentes às concentrações de constituintes do afluente e do efluente da ETE Brasília Norte.

Estatística	Vazão (m ³ /d)	DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)	
		Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
<i>Nº dados</i>	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
DP ¹	6649	82	8	166	11	104	6
CV ²	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)		Colif. Term. (NMP/100mL)	
	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
<i>Nº dados</i>	1597	1950	3	1871	1599	1952	94	95
Média	48	8	7	5	6,7	0,3	4,21E+07	9,43E+04
Mediana	48	6	7	3	6,5	0,2	1,70E+07	3,00E+04
Mínimo	3	1	6	0,01	3,0	0,01	1,30E+04	2,00E+00
Máximo	99	39	8	31	17,4	11,0	7,90E+08	5,40E+05
DP ¹	8	6	1	5	1,3	0,5	1,00E+08	1,34E+05
CV ²	0,16	0,70	0,13	1,08	0,20	1,70	2,38	1,42

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

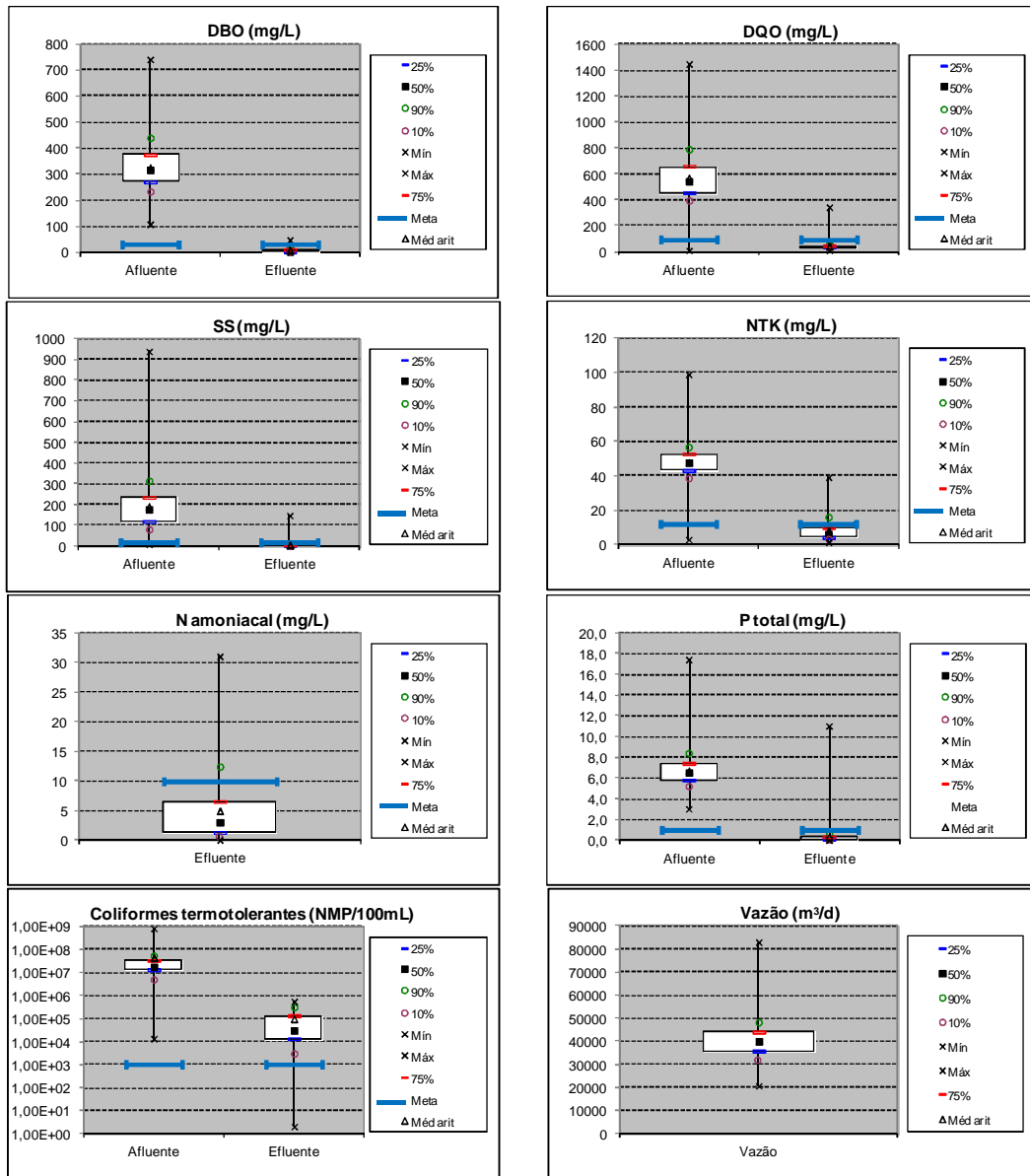


Figura 5.3 – Concentrações mínima, máxima, média aritmética e percentis do afluente e efluente da ETE Brasília Norte comparadas às metas de concentração efluente.

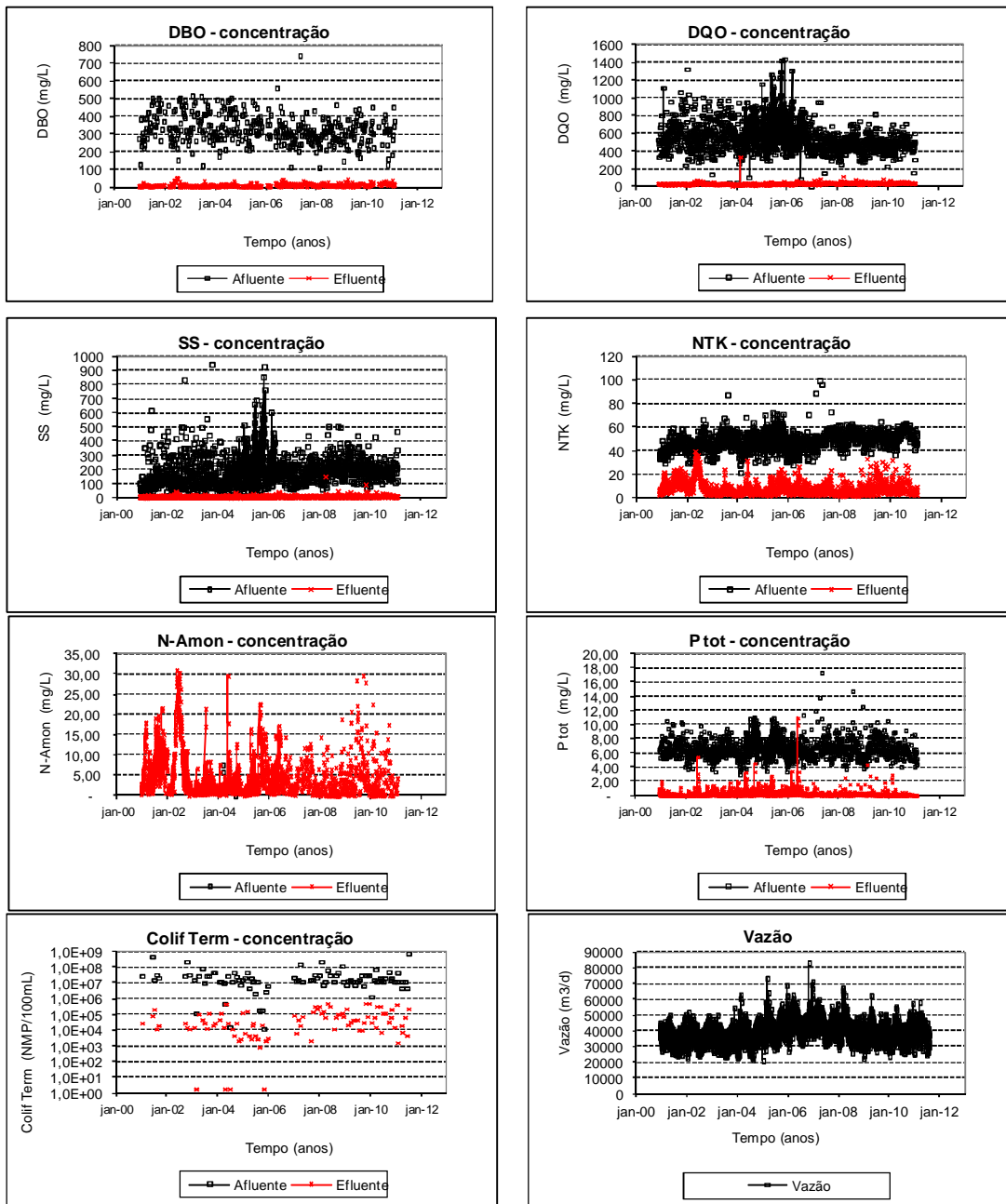


Figura 5.4 – Séries temporais das características do afluente e efluente da ETE Brasília Norte.

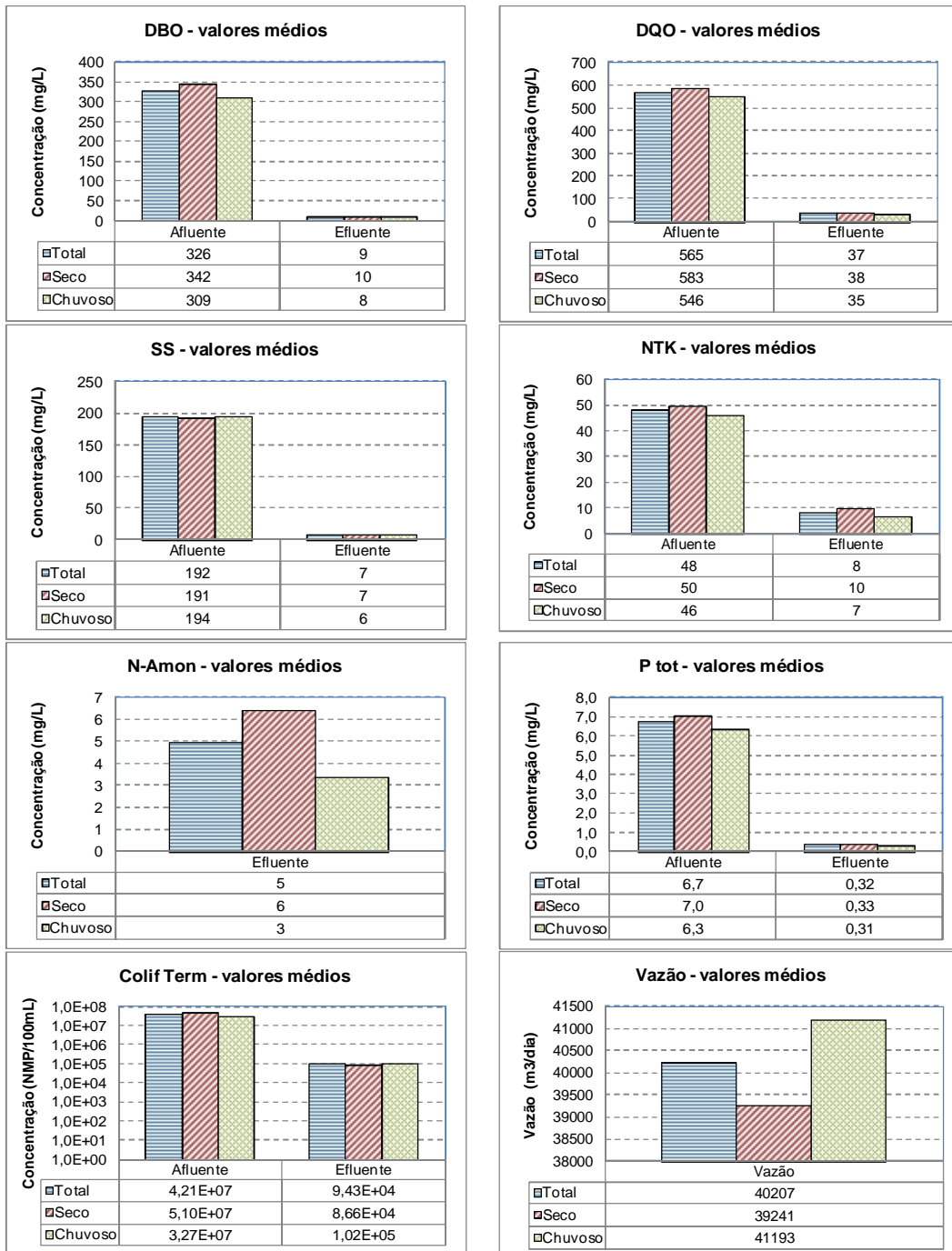
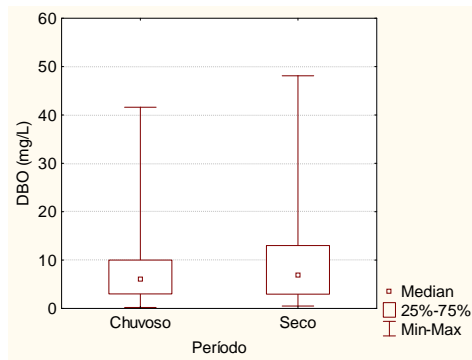
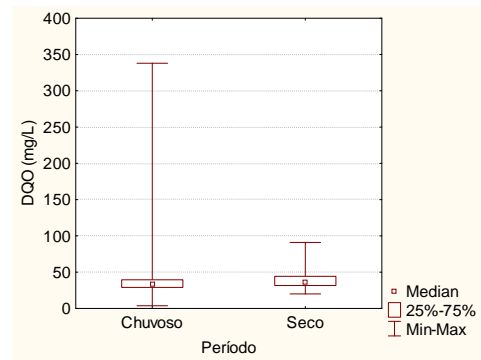


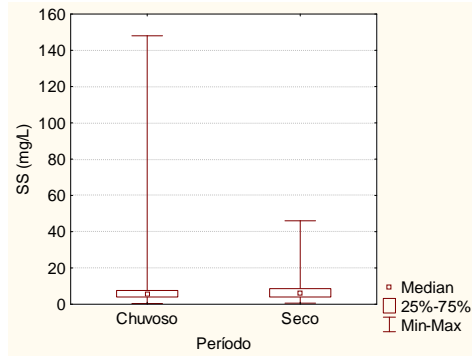
Figura 5.5 – Concentrações médias das características do afluente e efluente da ETE Brasília Norte em função da sazonalidade.



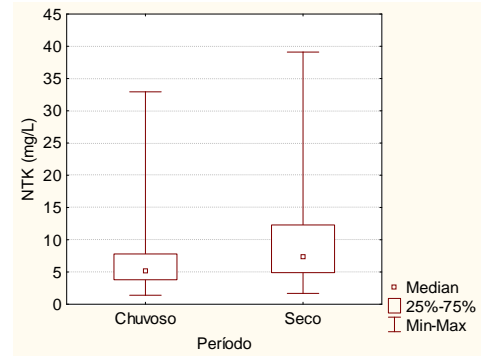
$p = 0,1317 > 0,05$: Não há dif. significativa



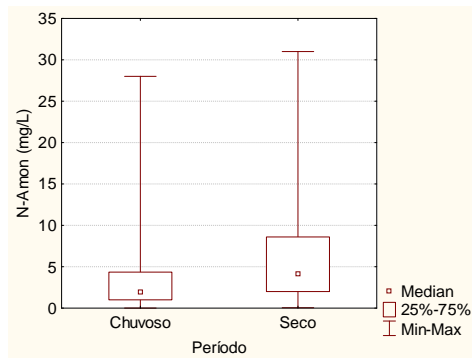
$p = 7,93E-18 < 0,05$: Dif. significativa



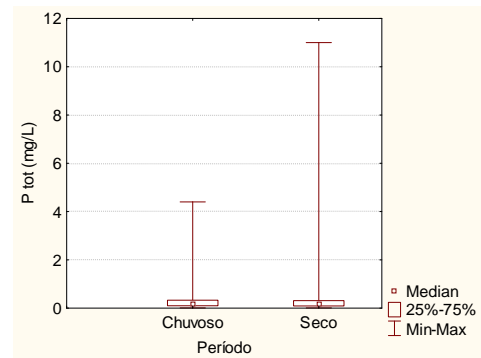
$p = 0,0003 < 0,05$: Dif. significativa



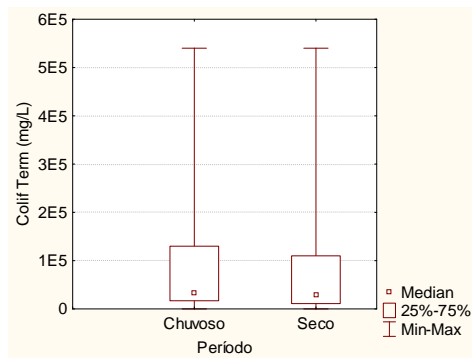
$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa



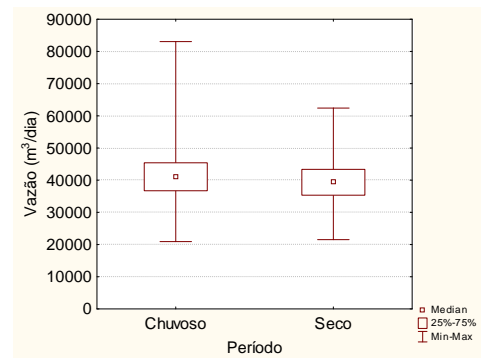
$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,0440 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,5966 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 3,95E-16 < 0,05$: Dif. significativa

Figura 5.6 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas características do efluente e vazão da ETE Brasília Norte.

Eficiências de Remoção

A Tabela 5.3 apresenta os resultados de uma avaliação estatística descritiva das eficiências de remoção da ETE Brasília Norte, cobrindo o período de 2000 a 2011. Na Figura 5.7 podem ser observadas, na forma de gráfico *box-whisker*, a dispersão e os valores mínimos e máximos das eficiências do sistema na remoção de cada parâmetro analisado. Para complementação da análise, no referido gráfico, são apresentadas também as metas de eficiência de remoção que são definidas e avaliadas no item 5.1.1.3. Em seguida, a Figura 5.8 apresenta as séries temporais das eficiências de remoção. Ao final, a Figura 5.9 e a Figura 5.10 apresentam as eficiências de remoção médias da ETE Brasília Norte em todo o período analisado, no período seco e período chuvoso, bem como os resultados obtidos pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), para verificação de diferenças significativas na eficiência de remoção durante os referidos períodos.

Devido à reduzida quantidade de resultados da concentração de N amoniacal no afluente, não se avaliou sua eficiência de remoção. Com relação às eficiências de remoção dos coliformes termotolerantes, optou-se por apresentá-las também em unidades log removidas para melhor visualização dos resultados.

Observa-se, de maneira geral, que a maior parte das eficiências de remoção dos parâmetros analisados encontram-se elevadas, em virtude da sofisticação dos processos de tratamento empregados. Porém, todos os parâmetros, com exceção apenas da DBO, apresentaram alguns valores inferiores a 50%, sendo isto mais representativo para o NTK. O teste U de Mann-Whitney identificou diferença significativa nos níveis de eficiência de remoção, em função da sazonalidade, apenas para os sólidos suspensos, NTK e fósforo total. No período seco, a eficiência de remoção para os dois primeiros parâmetros é levemente superior enquanto para o último, ela é levemente inferior neste mesmo período.

Tabela 5.3 – Estatísticas descritivas das eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.

Estatística	DBO (%)	DQO (%)	SS (%)	NTK (%)	P tot (%)	Colif. Term.	
						(%)	(unid.log) ⁽¹⁾
<i>Nº dados</i>	413	1592	1585	1588	1586	93	93
Média	97,1	91,2	95,5	82,9	95,1	99,54	2,34
Mediana	98,0	93,1	96,5	87,1	97,2	99,83	2,77
Mínimo	69,4	-1165,9	26,0	-63,3	-53,8	96,5	1,45
Máximo	100,0	98,4	99,7	96,9	99,9	100,0	5,40
Coef. Var	0,03	0,44	0,04	0,16	0,09	0,01	0,001
Desv. padrão	3,1	40,2	4,1	13,0	8,3	0,69	0,003

⁽¹⁾Unidades log removidas = $-\log(1 - \text{Efic}\%/100)$.

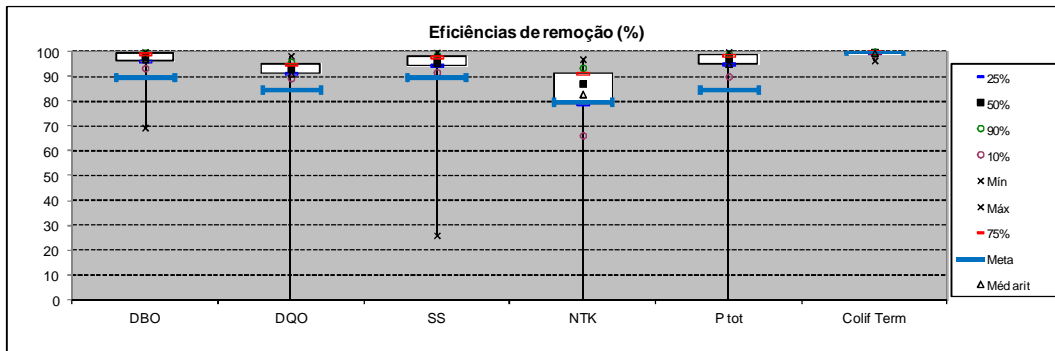


Figura 5.7 – Eficiências mínima, máxima e percentis do afluente e efluente da ETE Brasília Norte comparadas às metas de eficiência.

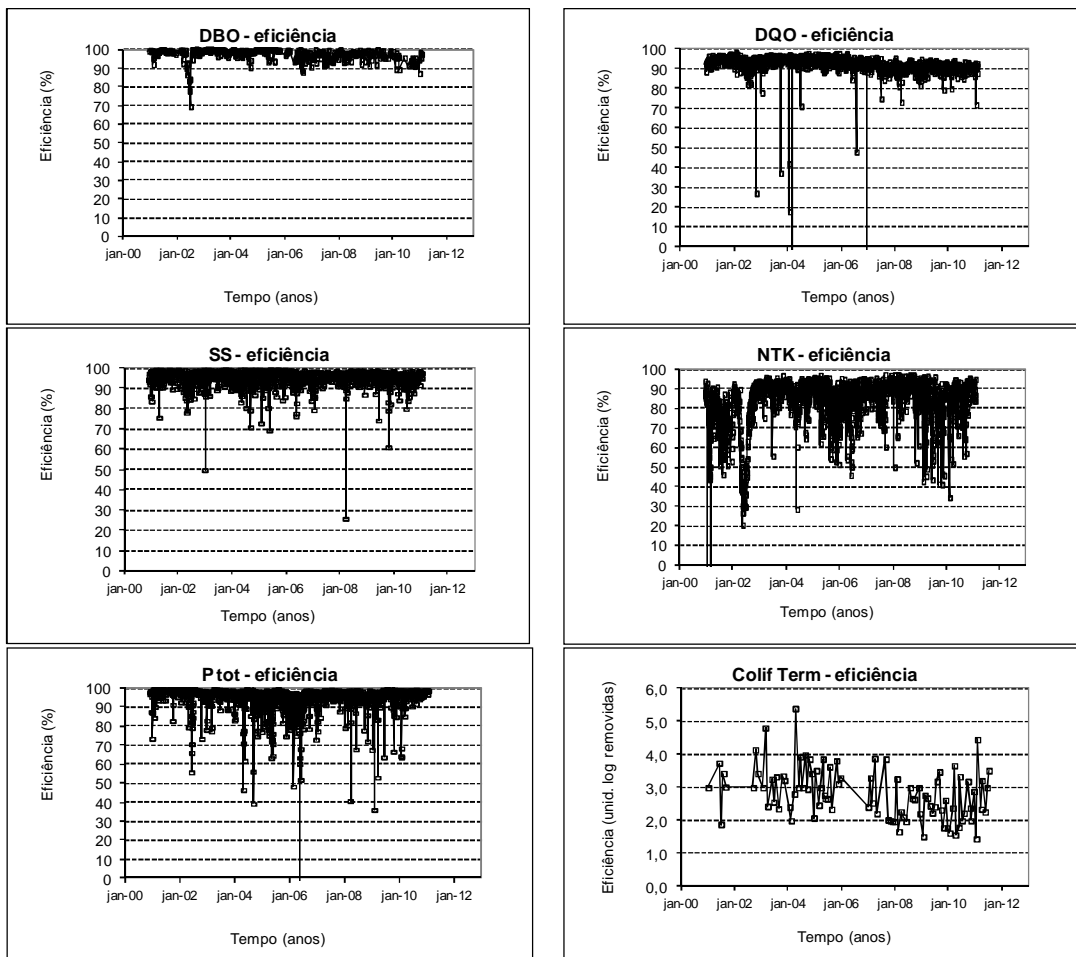


Figura 5.8 – Séries temporais das eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.

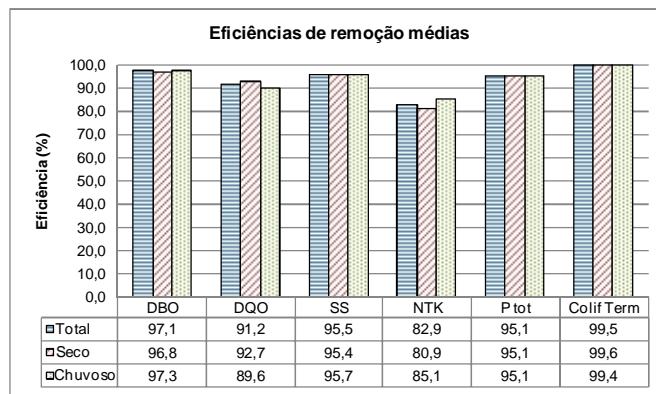
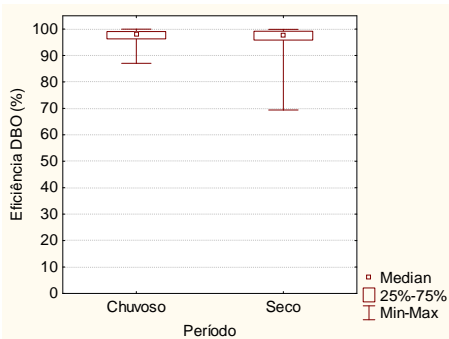
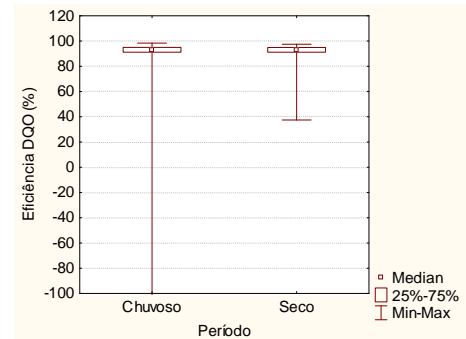


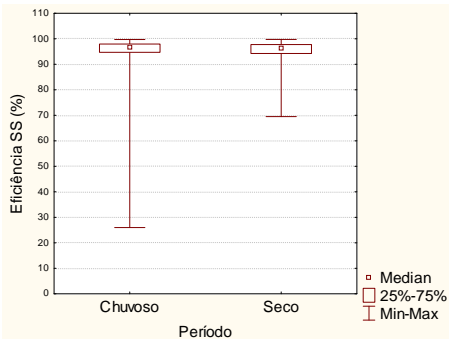
Figura 5.9 – Eficiências médias da ETE Brasília Norte em função da sazonalidade.



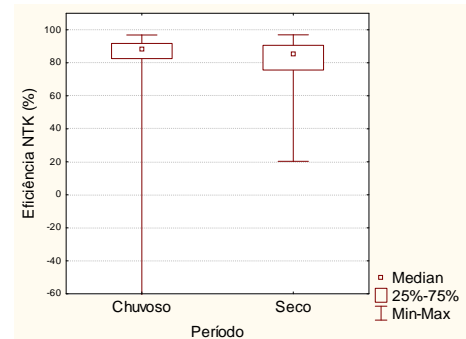
$p = 0,8642 > 0,05$: Não há dif. significativa



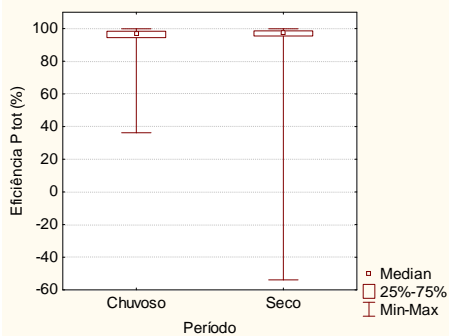
$p = 0,4956 > 0,05$: Não há dif. significativa
(Eficiência DQO mínima = -1166 %)



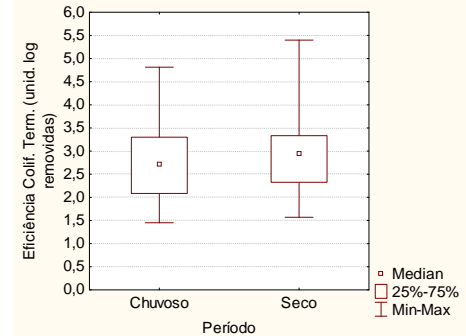
$p = 0,0072 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 1,39E-11 < 0,05$: Dif. significativa
(Eficiência NTK mínima = -63,3 %)



$p = 0,0003 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,3604 > 0,05$: Não há dif. significativa

Figura 5.10 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.

5.1.1.3 Determinação das metas de qualidade e avaliação do atendimento

Na Tabela 5.4 encontram-se discriminadas as metas de qualidade das concentrações efluentes e eficiências de remoção consideradas no presente estudo para a ETE Brasília Norte. Vale ressaltar que as metas de eficiência de remoção de DBO, SS, NTK e P tot correspondem ao padrão H do Prodes, uma vez que este é o padrão utilizado pela Caesb para a ETE em estudo. As metas de DQO e coliformes termotolerantes correspondem a valores médios de faixas tradicionais esperados para esse tipo de processo de tratamento pela literatura, bem como pelas condições do sistema observadas na visita técnica. Já as metas de concentração efluente foram estipuladas buscando uma coerência entre as concentrações médias observadas no esgoto bruto e as eficiências de remoção. Por exemplo, a concentração média afluente calculada corresponde a 326 mg/L e a eficiência de remoção adotada é de 90%. Estes valores conduzem a uma concentração efluente de 33 mg/L e, dessa forma, adotou-se a concentração de 30 mg/L como meta para a concentração efluente de DBO. A meta de coliformes termotolerantes foi baseada no padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas doces classe 2, desprezando-se, portanto, a capacidade de diluição do corpo receptor. Complementar a isto, tem-se que o referido valor é um padrão comumente adotado para reuso de efluentes.

Tabela 5.4 – Metas adotadas para avaliação de desempenho da ETE Brasília Norte.

Meta	DBO	DQO	SS	NTK	N-Amon	P tot	Colif Term
Concentr. Efluente	30mg/L	90mg/L	20mg/L	12mg/L	10mg/L	1,0mg/L	10 ³ NMP/100mL
Eficiência Remoção	90%	85%	90%	80%	-	85%	99,99%

Concentrações do Efluente

As porcentagens de atendimento às metas determinadas para as concentrações no efluente da ETE Brasília Norte encontram-se apresentadas na Figura 5.11. Os resultados obtidos pela comparação dos percentuais de atendimento às metas no período seco e no período chuvoso, pelo teste U de Mann-Whitney encontram-se na Figura 5.12. Em seguida, a Figura 5.13 mostra a porcentagem de atendimento anualmente.

Para a maior parte dos parâmetros foram obtidos percentuais de atendimento superiores a 60%. A exceção ocorre para coliformes termotolerantes, para o qual o maior anual foi de 15% em 2005. Observa-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.

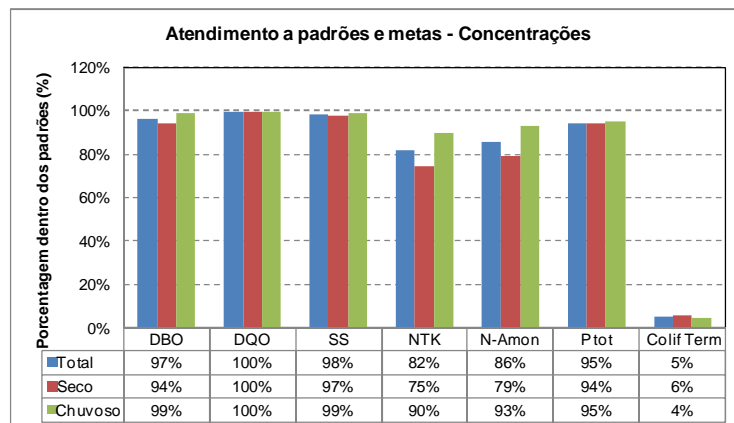
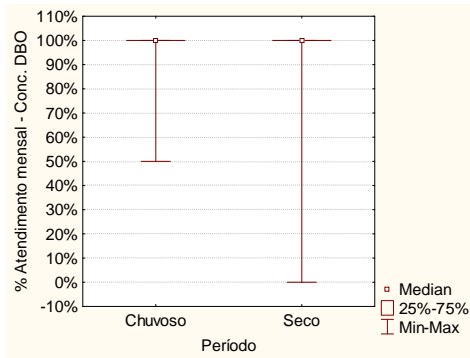
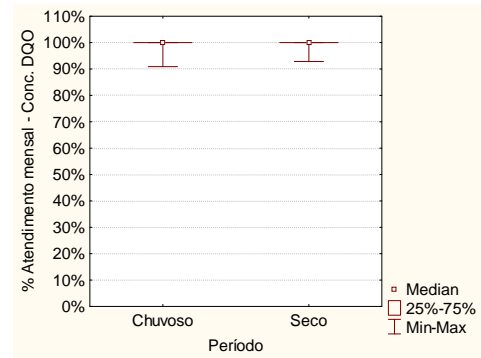


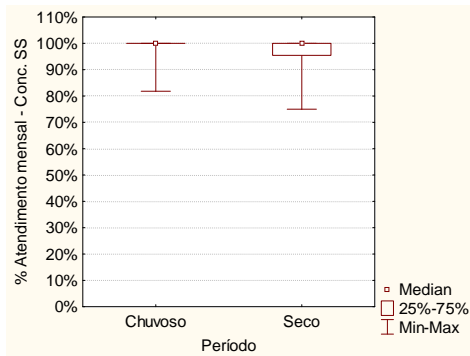
Figura 5.11 – Porcentagem de atendimento das concentrações do efluente da ETE Brasília Norte às metas em função da sazonalidade.



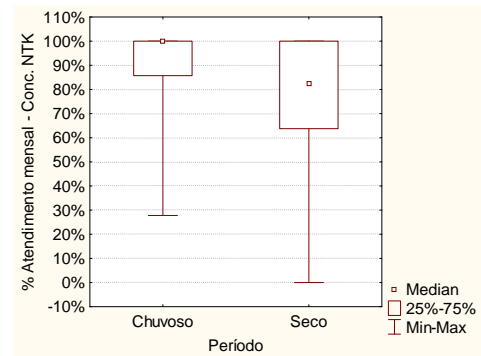
$p = 0,5038 > 0,05$: Não há dif. significativa



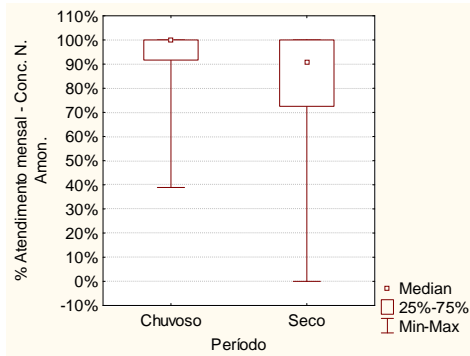
$p = 0,7557 > 0,05$: Não há dif. significativa



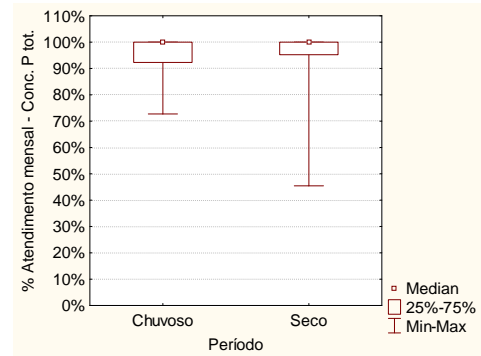
$p = 0,2763 > 0,05$: Não há dif. significativa



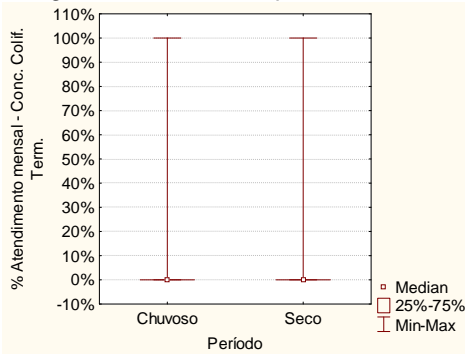
$p = 0,0003 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,0019 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,1861 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,8789 > 0,05$: Não há dif. significativa

Figura 5.12 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de concentração pela ETE Brasília Norte.

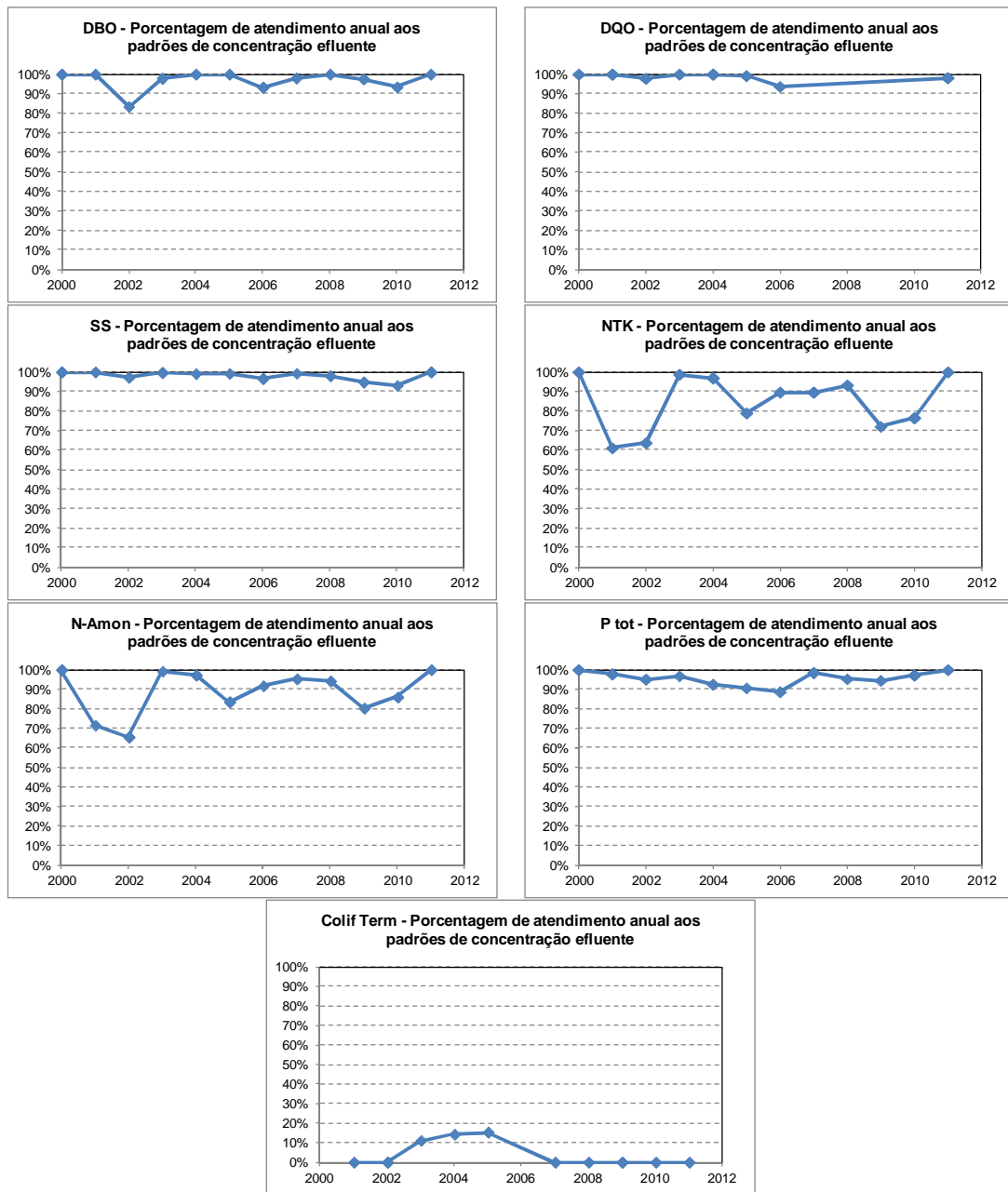


Figura 5.13 – Porcentagem de atendimento anual às metas para a concentração efluente da ETE Brasília Norte.

Eficiências de remoção

As porcentagens de atendimento às metas estabelecidas para as eficiências de remoção da ETE Brasília Norte encontram-se apresentadas na Figura 5.14 para o período total amostrado, para o período seco e para o período chuvoso separadamente. A Figura 5.15 mostra os resultados obtidos pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), ao se compararem os referidos períodos. A Figura 5.16 apresenta a porcentagem de

atendimento anual às mesmas metas. Vale ressaltar que não foi adotado um valor como meta de eficiência de remoção para o parâmetro nitrogênio amoniacal.

Todos os percentuais de atendimento anuais são superiores a 80%, com exceção apenas de NTK e de coliformes termotolerantes, sendo que para o primeiro o percentual mínimo foi de 38% em 2001 e para o segundo os percentuais de atendimento anuais variaram entre 0% e 33%.

Verificou-se haver diferença significativa nos percentuais de atendimento às metas, em função da sazonalidade, para as eficiências de remoção de NTK, inferior no período seco, e fósforo total, superior no mesmo período.

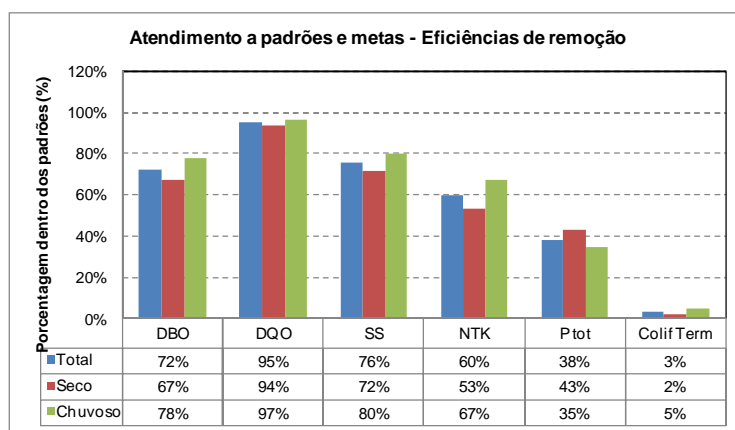
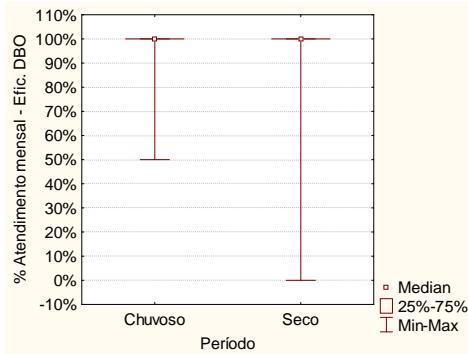
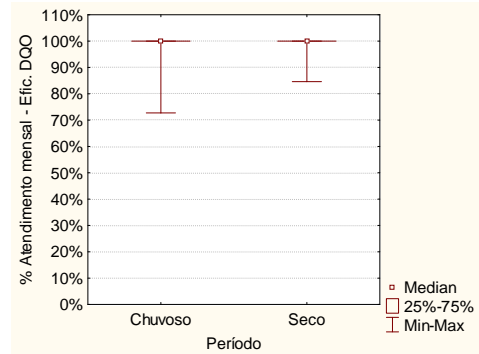


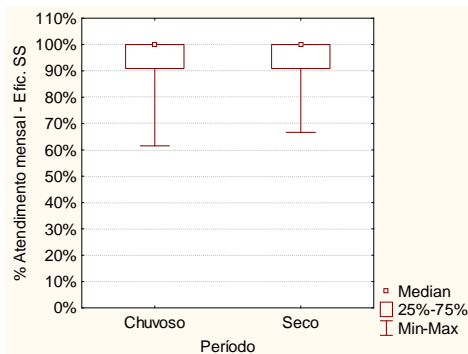
Figura 5.14 – Porcentagem de atendimento das eficiências de remoção da ETE Brasília Norte às metas em função da sazonalidade.



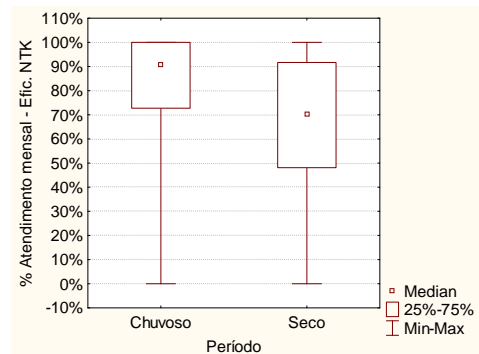
$p = 0,9821 > 0,05$: Não há dif. significativa



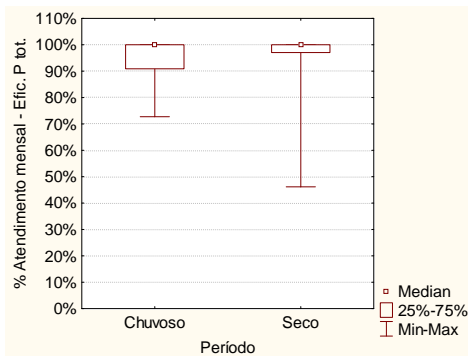
$p = 0,6594 > 0,05$: Não há dif. significativa



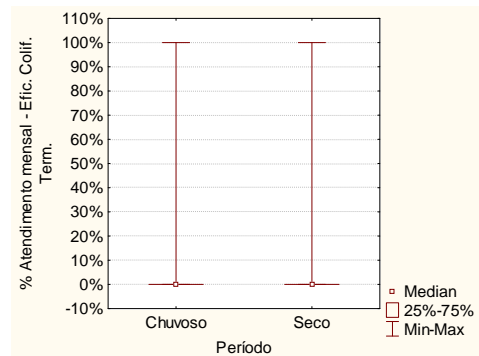
$p = 0,9586 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,0009 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,0468 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,8489 > 0,05$: Não há dif. significativa

Figura 5.15 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de eficiência pela ETE Brasília Norte.

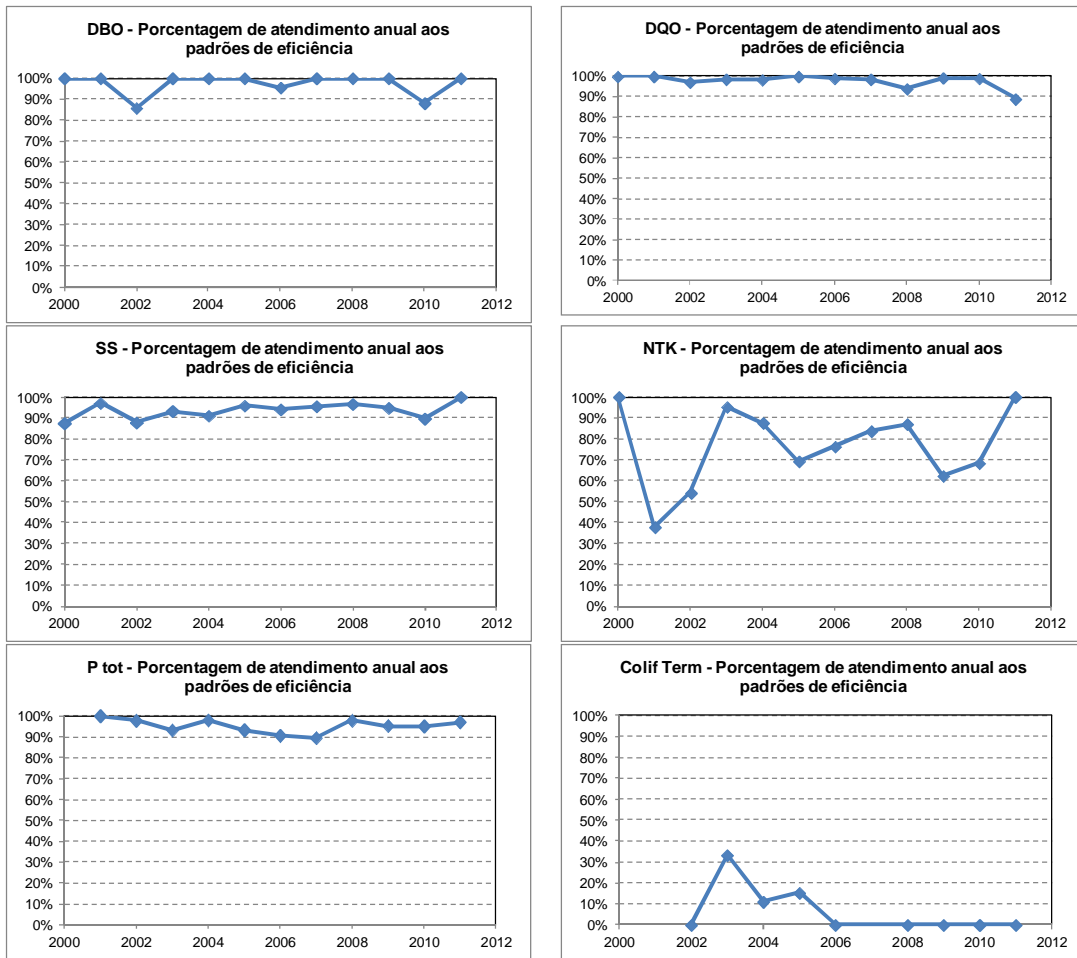


Figura 5.16 – Porcentagem de atendimento anual às metas de eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.

5.1.1.4 Análise de confiabilidade dos processos de tratamento

A Figura 5.17 e a Figura 5.18 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 5.17 são bastante próximos aos apresentados na Figura 5.11 (porcentagem de atendimento às metas de concentrações efluentes da ETE Brasília Norte), indicando a aplicabilidade do conceito.

Os valores apresentados na Figura 5.18 representam o coeficiente de confiabilidade obtido para cada um dos parâmetros de qualidade usando a Equação 4.2, apresentada no item 4.2.4.

Por exemplo, caso se deseje uma confiabilidade de 90% (atendimento à meta de qualidade em 90% do tempo) para DBO, tem-se o CDC de 0,49 (ver tabela constante da figura). Dessa forma, para se cumprir com a meta de 30 mg/L 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.

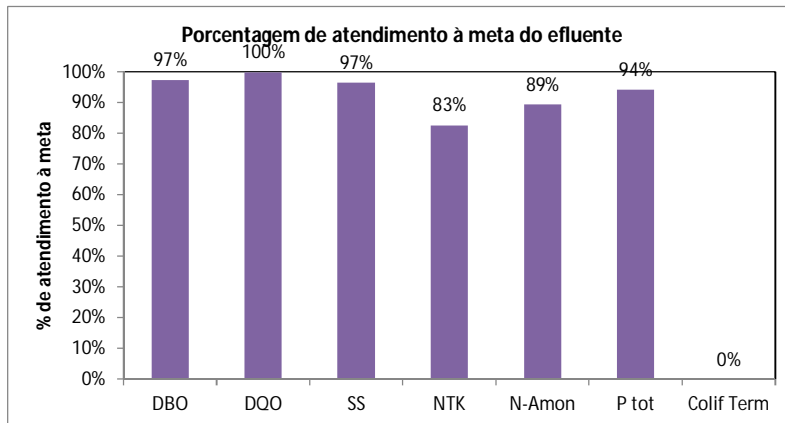


Figura 5.17 – Porcentagem de atendimento esperado à meta do efluente da ETE Brasília Norte.

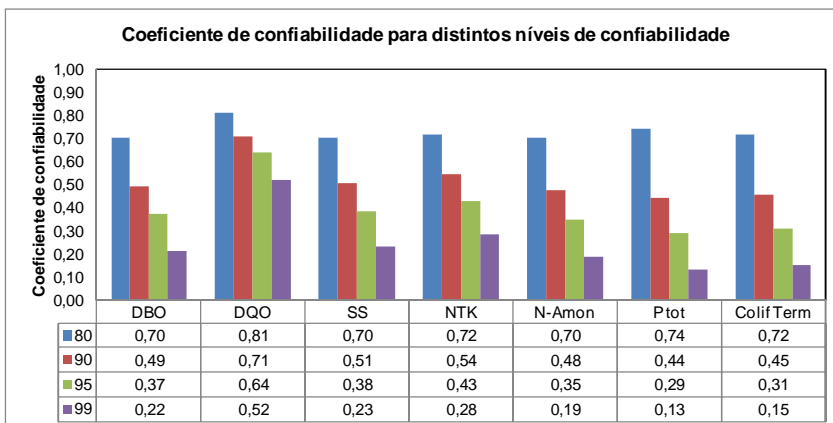


Figura 5.18 – Coeficiente de confiabilidade para distintos níveis de confiabilidade.

5.1.1.5 Verificação da utilização da capacidade instalada

A ETE Brasília Norte foi projetada para uma vazão média de 920 L/s (79488 m³/d). A Figura 5.19 apresenta a relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto. Nota-se que a estação sempre trabalhou com grande folga no que diz respeito às cargas hidráulicas, usando apenas cerca de 50% da capacidade instalada. Isto é endossado pelo fato de que, dos quatro reatores biológicos implantados, apenas dois estão em utilização.

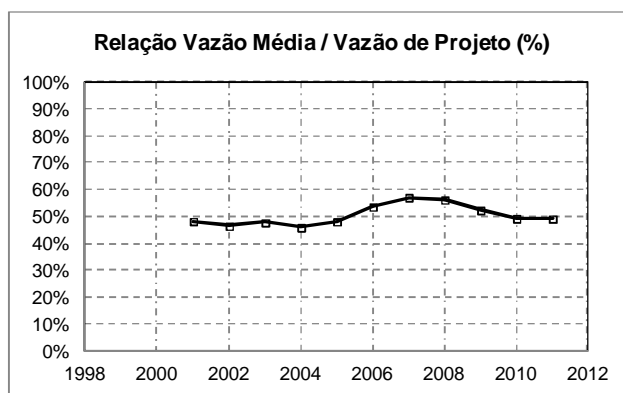


Figura 5.19 – Relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto da ETE Brasília Norte.

5.1.1.6 Avaliação do impacto da implantação de melhorias

A partir de junho de 2005 as unidades da ETE Brasília Norte antiga passaram a ser utilizadas para a equalização de picos de vazão. O presente item avalia a influência desta melhoria no processo: nas concentrações do efluente, no atendimento às metas e na eficiência da unidade.

Como será visto no presente item, o impacto positivo da utilização da equalização foi bem modesto, no que diz respeito às concentrações efluentes e eficiências de remoção reportadas. No entanto, apesar de aparentemente não se ter benefícios claramente positivos, tal como depreendido das análises efetuadas, tem-se o importante fato de que, segundo a Caesb, após a implantação da equalização, não houve mais lançamento de esgotos brutos por by-pass ao lago Paranoá. Esta melhoria não é contabilizada pela análise a seguir, mas seguramente é um importante elemento que merece registro.

Concentrações do Efluente

A Tabela 5.5 apresenta uma comparação entre as estatísticas descritivas e os percentuais de atendimento das concentrações de antes de se adotar a equalização da vazão (janeiro de 2000 a junho de 2005) e do período após este momento (julho de 2005 a agosto de 2011). Observa-se que o número de dados dos períodos considerados se diferenciam para alguns parâmetros.

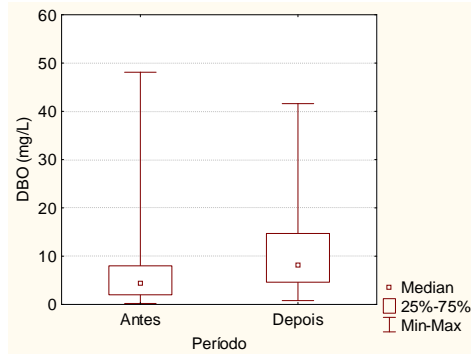
Pelo teste U de Mann-Whitney, com um nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), verificou-se haver diferença significativa nos níveis de vazão e nas concentrações de todos os parâmetros, com exceção apenas do NTK, sendo que ocorre um suave aumento das concentrações após a implantação da equalização (Figura 5.20).

Ao se avaliar a influência da melhoria no processo da ETE Brasília Norte no atendimento às metas determinadas para o efluente pelo mesmo teste, foi observada diferença significativa entre os percentuais de atendimento às metas de sólidos suspensos e coliformes termotolerantes, tendo ocorrido uma leve redução dos referidos valores (Figura 5.21).

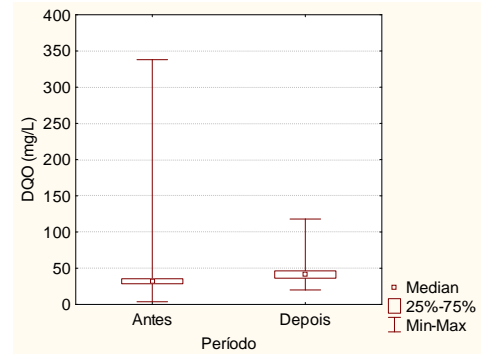
Tabela 5.5 – Comparação das estatísticas descritivas e dos atendimentos às metas de concentrações efluente de antes e depois da melhoria no processo da ETE Brasília Norte.

Estatística	Vazão (m ³ /d)		DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
<i>Nº dados</i>	1642	2222	201	235	1095	856	1097	847
Média	37895	41915	7	10	33	42	6	8
Mediana	38367	41783	4	8	32	41	5	7
Mínimo	20927	22329	0,2	1	4	20	0	1
Máximo	73192	83056	48	42	338	118	42	148
Coef. Var	0,16	0,16	1,22	0,75	0,35	0,21	0,68	0,91
Desv. padrão	5878	6670	9	8	12	9	4	8
Atendim. a meta	-	-	96%	97%	100%	100%	99%	97%

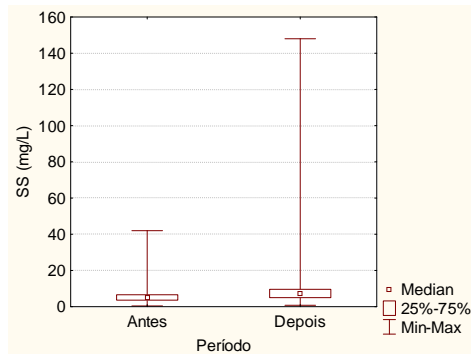
Estatística	NTK (mg/l)		N-Amon (mg/l)		P tot (mg/l)		Colif Term (NMP/100mL)	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
<i>Nº dados</i>	1095	855	1061	810	1096	856	38	57
Média	8	8	5	5	0,3	0,3	5,31E+04	1,22E+05
Mediana	6	6	3	4	0,2	0,2	2,20E+04	7,00E+04
Mínimo	2	1	0,010	0,04	0,01	0,02	2,00E+00	2,00E+00
Máximo	39	33	31	30	5,5	11,0	5,00E+05	5,40E+05
Coef. Var	0,73	0,66	1,17	0,96	1,5	1,87	1,72	1,24
Desv. padrão	6	5	6	5	0,4	0,6	2,20E+04	1,51E+05
Atendim. a meta	82%	82%	85%	87%	94%	95%	8%	4%



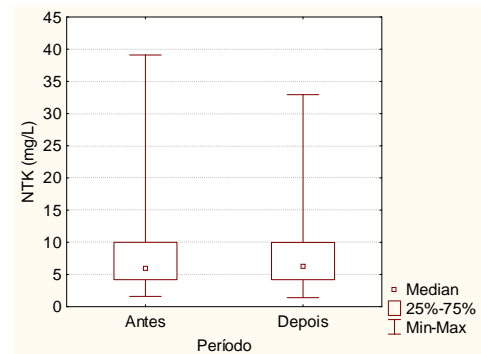
$p = 2,07E-11 < 0,05$: Dif. significativa



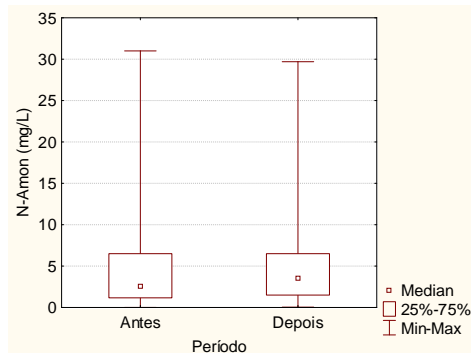
$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa



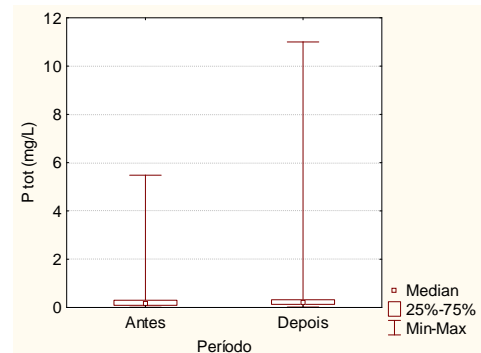
$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,7587 > 0,05$: Não há dif. significativa



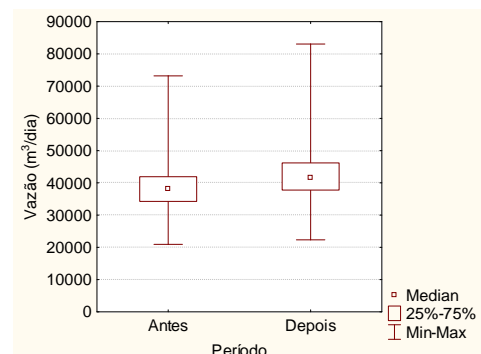
$p = 0,0094 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 1,12E-10 < 0,05$: Dif. significativa

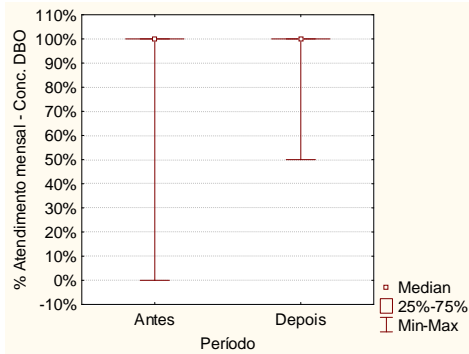


$p = 0,0109 < 0,05$: Dif. significativa

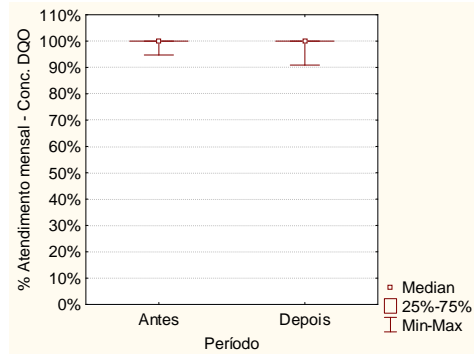


$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa

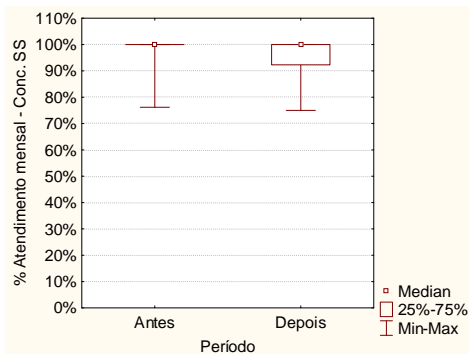
Figura 5.20 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo nas características do efluente da ETE Brasília Norte.



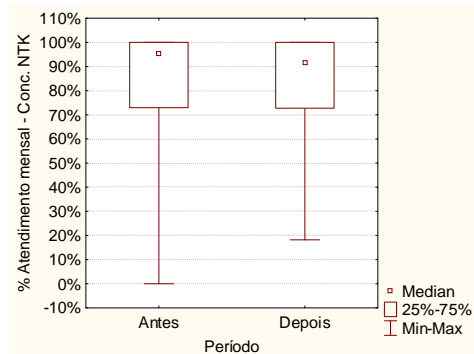
$p = 0,8310 > 0,05$: Não há dif. significativa



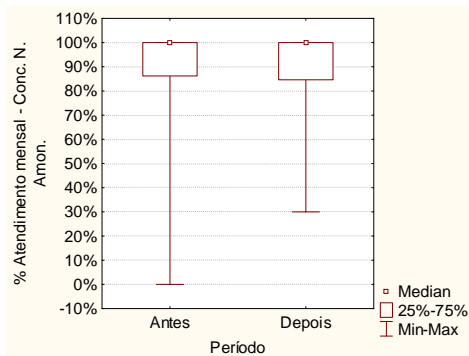
$p = 0,6535 > 0,05$: Não há dif. significativa



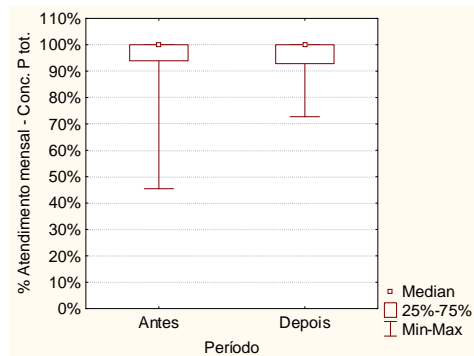
$p = 0,01267 < 0,05$: Dif. significativa



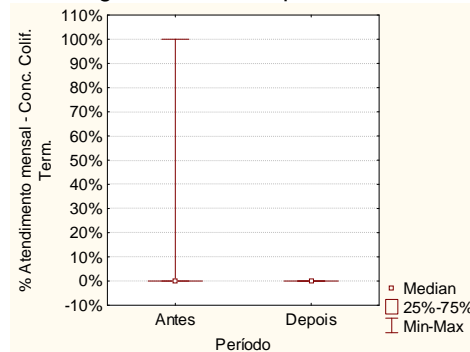
$p = 0,5472 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,8492 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,0856 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,011 < 0,05$: Dif. significativa

Figura 5.21 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo da ETE Brasília Norte no atendimento às metas de concentração efluente.

Eficiências de Remoção

A Tabela 5.6 apresenta uma comparação entre as estatísticas descritivas e os percentuais de atendimento das eficiências de remoção de antes de se adotar a equalização da vazão (janeiro de 2000 a junho de 2005) e de após este momento (julho de 2005 a agosto de 2011).

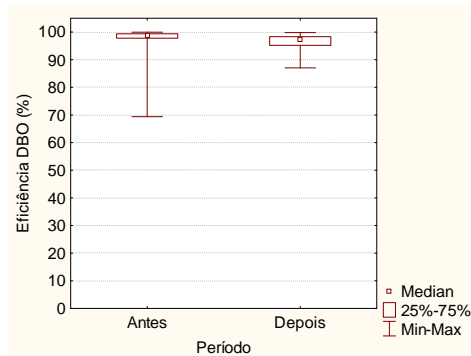
Pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), foi verificada a ocorrência de diferença significativa nos níveis de eficiência de remoção de todos os parâmetros, com exceção apenas do NTK (Figura 5.22). Todas as eficiências sofreram uma pequena redução após a implantação da equalização.

Ao se avaliar a influência da melhoria no processo da ETE Brasília Norte no atendimento às metas de eficiência de remoção pelo mesmo teste, não foi identificada a presença de diferença significativa nos níveis de atendimento às metas entre o período anterior e o período posterior à implantação da melhoria (Figura 5.23).

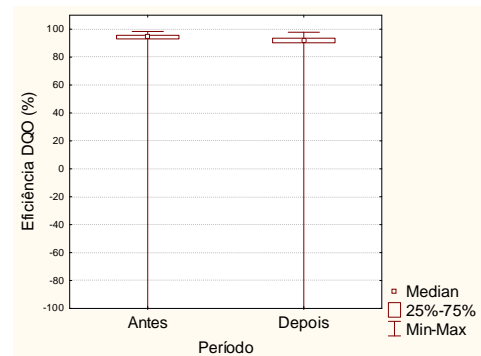
Tabela 5.6 – Comparação das estatísticas descritivas e dos atendimentos às metas das eficiências de antes e depois da melhoria no processo da ETE Brasília Norte.

Estatística	DBO (%)		DQO (%)		SS (%)	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
<i>Nº dados</i>	193	220	745	847	746	839
Média	97,7	96,5	92,1	90,5	95,6	95,5
Mediana	98,7	97,3	94,5	91,7	96,7	96,3
Mínimo	69,4	87,0	-1165,9	-887,8	50,0	26,0
Máximo	100,0	99,8	98,4	97,8	99,7	99,7
Coef. Var.	0,04	0,03	0,50	0,37	0,04	0,04
Desv. padrão	3,6	2,6	46,4	33,8	4,1	4,1
Atendim. a meta	97%	98%	99%	98%	93%	95%

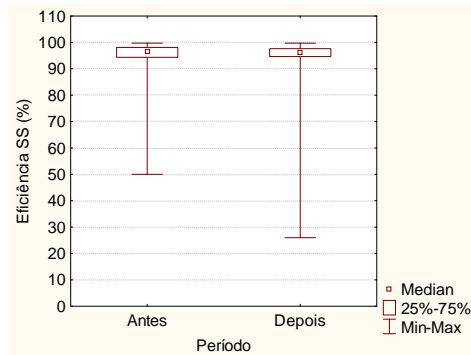
Estatística	NTK (%)		P tot (%)		Colif Term (unid. log removidas)	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
<i>Nº dados</i>	739	849	736	850	37	56
Média	81,9	83,8	95,5	94,7	2,72	2,20
Mediana	87,4	87,0	97,8	96,8	3,00	1,45
Mínimo	-63,3	34,3	39,5	-53,8	1,89	4,46
Máximo	96,6	96,9	99,9	99,8	5,40	0,00004
Coef. Var.	0,19	0,13	0,07	0,10	0,00001	2,42
Desv. padrão	15,3	10,5	6,5	9,7	0,00124	0,00352
Atendim. a meta	73%	72%	94%	95%	11%	2%



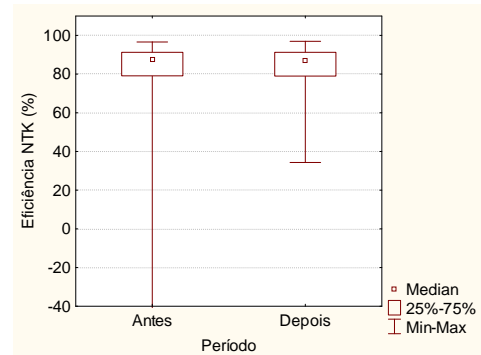
$p = 1,45E-14 < 0,05$: Dif. significativa



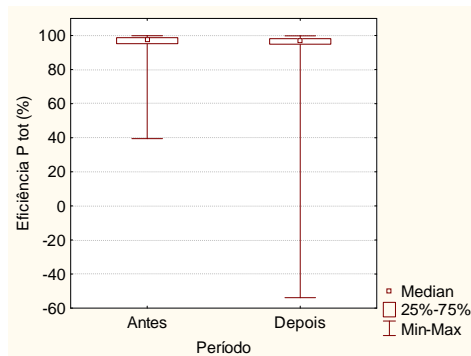
$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa



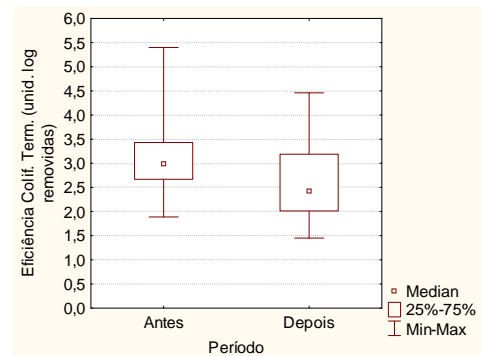
$p = 0,02682 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,4301 > 0,05$: Não há dif. significativa

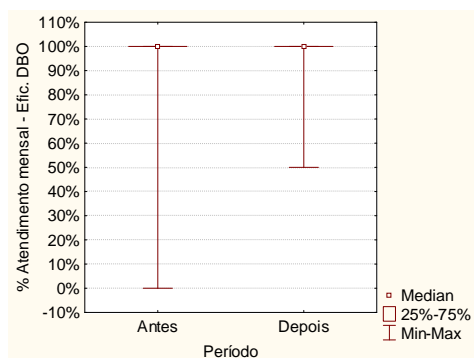


$p = 4,38E-10 < 0,05$: Dif. significativa

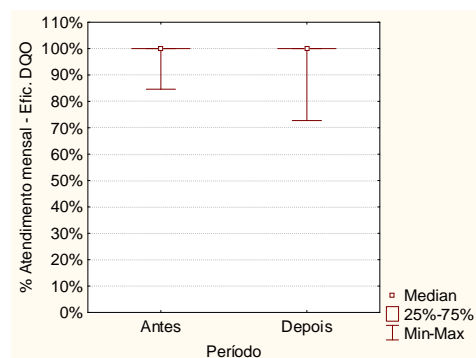


$p = 0,0006 < 0,05$: Dif. significativa

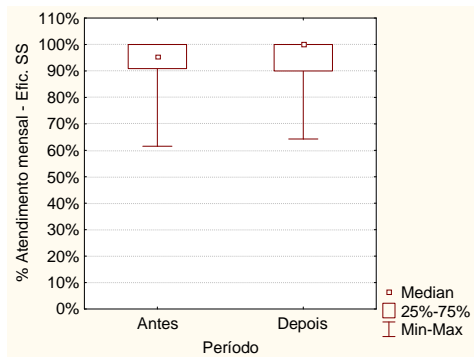
Figura 5.22 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo nas eficiências de remoção da ETE Brasília Norte.



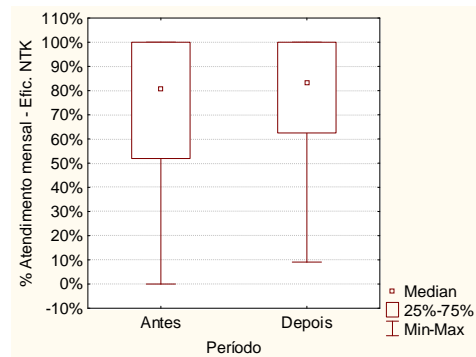
$p = 0,8689 > 0,05$: Não há dif. significativa



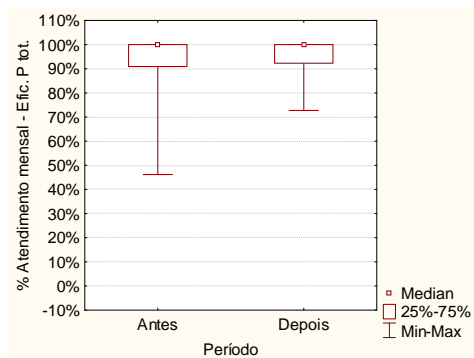
$p = 0,4891 > 0,05$: Não há dif. significativa



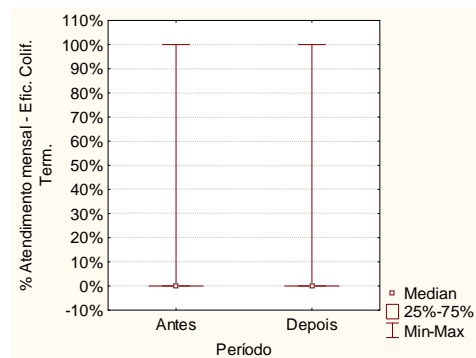
$p = 0,2596 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,6862 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,1633 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,0966 > 0,05$: Não há dif. significativa

Figura 5.23 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo da ETE Brasília Norte no atendimento às metas de eficiência de remoção.

5.1.1.7 Avaliação de produção de lodo

A Tabela 5.7 apresenta uma estatística descritiva da produção de lodo da ETE Brasília Norte. Na Figura 5.24 são apresentadas as séries temporais de todo o período analisado e o gráfico *box-whisker* da produção de lodo mensal na ETE Brasília Norte.

Nota-se que o valor mais elevado ocorreu em junho de 2005 enquanto o menor valor foi em janeiro do mesmo ano.

Tabela 5.7 – Estatística descritiva referente à produção de lodo na ETE Brasília Norte.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coef. Var	Desv. Padrão
Lodo Produzido (m ³ /mês)	137	1798	1846	846	2794	0,23	407

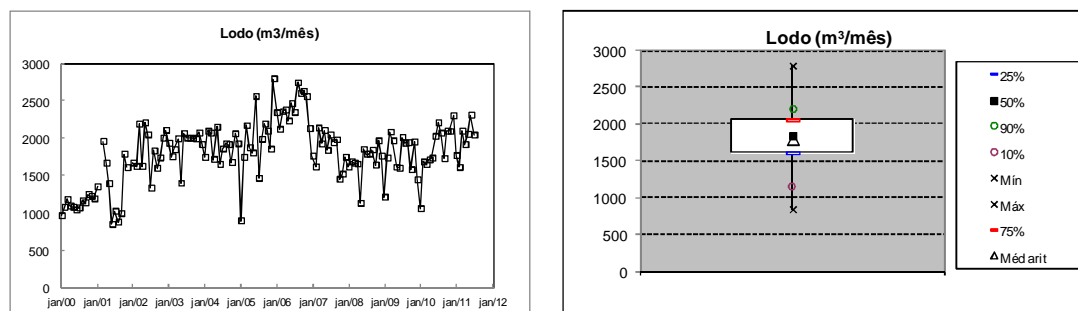


Figura 5.24 – Série temporal e *box-whisker* da produção de lodo na ETE Brasília Norte.

5.1.1.8 Avaliação do consumo energético e de produtos químicos

Conforme informações disponibilizadas pela Caesb, os produtos químicos utilizados na ETE Brasília Norte são: cal, polieletrólito aniônico, polieletrólito catiônico, sulfato de alumínio e cloreto férrico. A Tabela 5.8 apresenta uma estatística descritiva do consumo de energia e de produtos químicos na ETE Brasília Norte. Da Figura 5.25 a Figura 5.30 são apresentadas as séries temporais de todo o período analisado e o gráfico *box-whisker* dos consumos de energia e de cada produto químico consumido na ETE Brasília Norte.

Observa-se que os consumos são bastante variáveis ao longo do tempo e que, para a maior parte dos produtos químicos, o menor consumo ocorreu no ano de 2008.

Tabela 5.8 – Estatísticas descritivas referentes ao consumo de energia e produtos químicos na ETE Brasília Norte.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coef. Var	Desv. Padrão
Potência Consum. (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

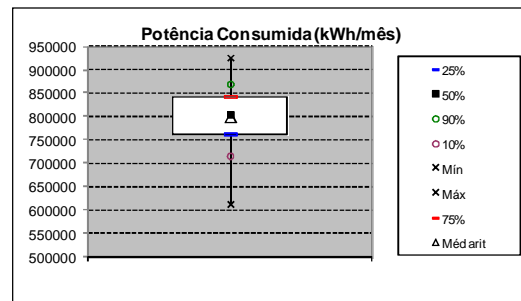
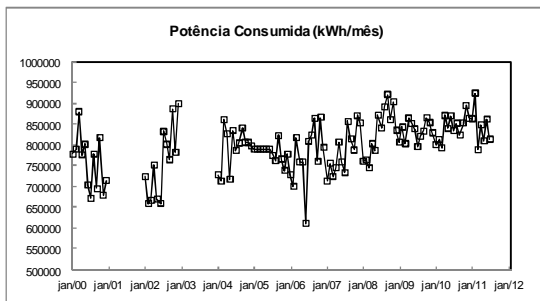


Figura 5.25 – Série temporal e *box-whisker* da potência consumida na ETE Brasília Norte.

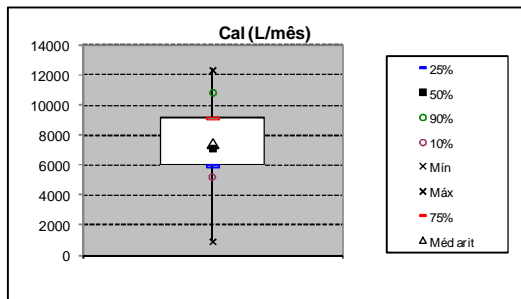
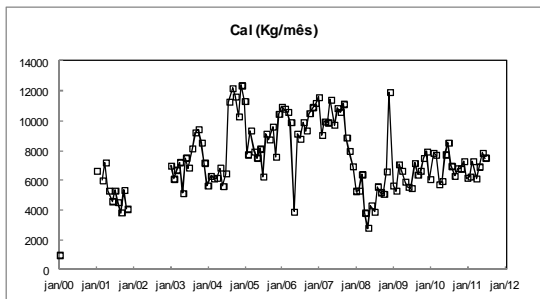


Figura 5.26 – Série temporal e *box-whisker* do consumo de cal na ETE Brasília Norte.

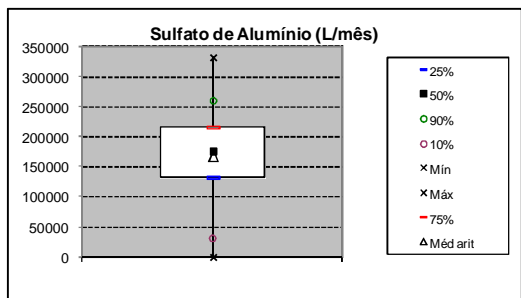
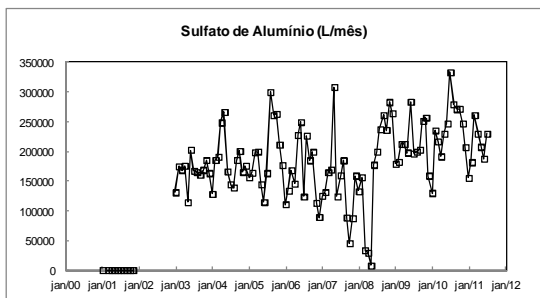


Figura 5.27 – Série temporal e *box-whisker* do consumo de sulfato de alumínio na ETE Brasília Norte.

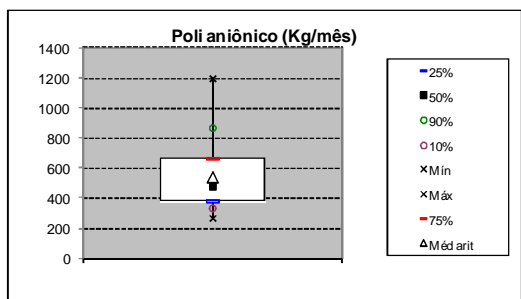
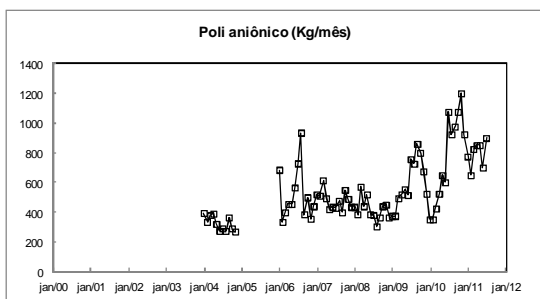


Figura 5.28 – Série temporal e *box-whisker* do consumo de poli aniônico na ETE Brasília Norte.

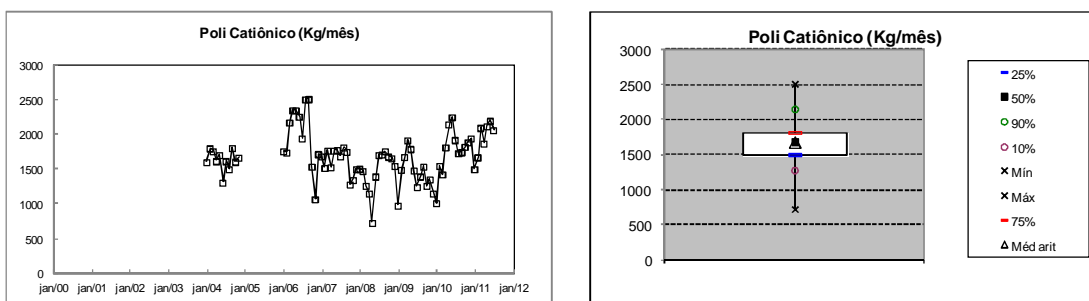


Figura 5.29 – Série temporal e *box-whisker* do consumo de poli catiônico na ETE Brasília Norte.

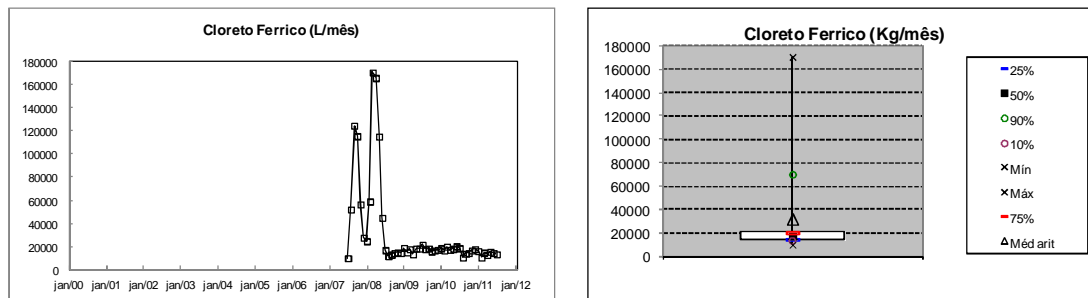


Figura 5.30 – Série temporal e *box-whisker* do consumo de cloreto férrico na ETE Brasília Norte.

5.1.1.9 Avaliação dos custos

A Tabela 5.9 apresenta uma estatística descritiva dos custos da ETE Brasília Norte. Da Figura 5.31 a Figura 5.34 são apresentadas as séries temporais de todo o período analisado e o gráfico *box-whisker* dos custos com pessoal, energia elétrica, produtos químicos e custo total na ETE Brasília Norte.

Dentre os custos discriminados, o de média mais elevada é o custo com pessoal. Nota-se que ocorre um crescimento moderado dos custos com pessoal e energia elétrica ao longo dos anos, já os custos com produtos químicos variam bastante sem apresentarem tendência.

Tabela 5.9 – Estatísticas descritivas referentes aos custos da ETE Brasília Norte.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coef. Var	Desv. Padrão
Pessoal (R\$/mês)	84	313.432,09	329.687,81	179.076,27	523.973,57	0,27	86.008,06
Energia Elétrica (R\$/mês)	108	193.424,68	191.407,71	122.530,42	289.139,03	0,18	35.062,76
Produtos Químicos (R\$/mês)	84	170.226,20	165.166,90	23.030,99	333.325,99	0,36	61.858,22
Custo Total da Unidade(R\$/mês)	84	1.192.493,54	1.193.251,55	928.139,38	1.792.122,38	0,12	147.123,68

Obs: Os custos não discriminados correspondem aos custos com laboratório, limpeza, conservação, vigilância, material expediente, manutenção, serviços, e locação de transporte.

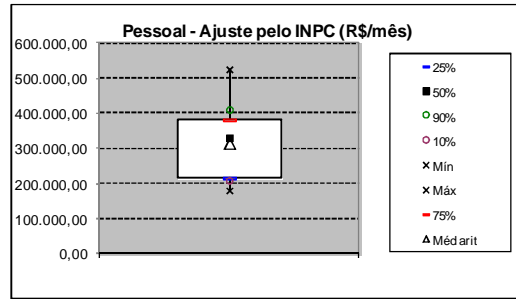
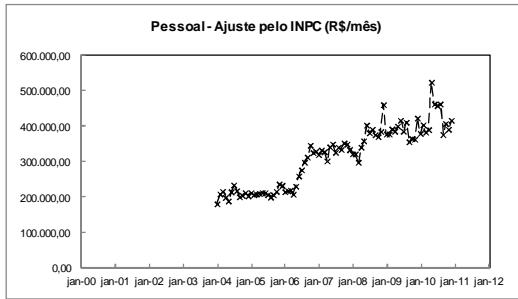


Figura 5.31 – Série temporal e box-whisker do custo com pessoal na ETE Brasília Norte.

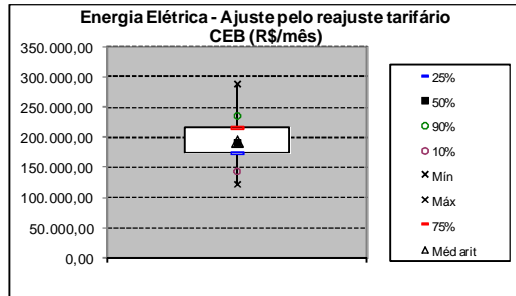
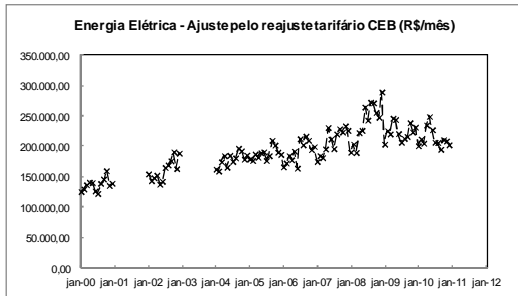


Figura 5.32 – Série temporal e box-whisker do custo com energia elétrica na ETE Brasília Norte.

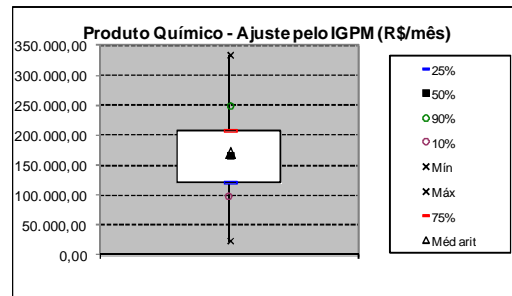
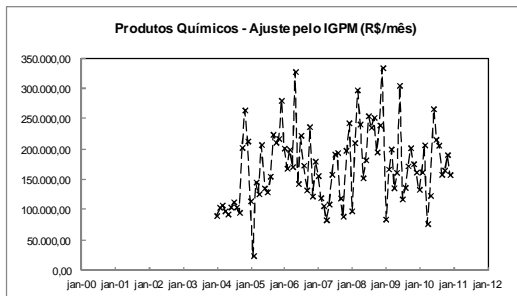


Figura 5.33 – Série temporal e box-whisker do custo com produto químico na ETE Brasília Norte.

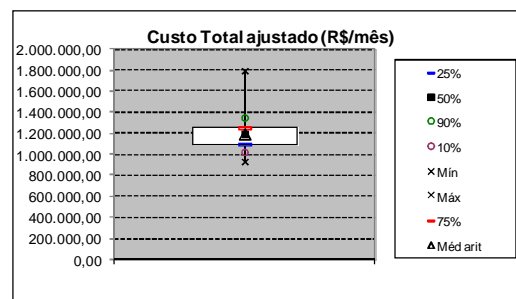
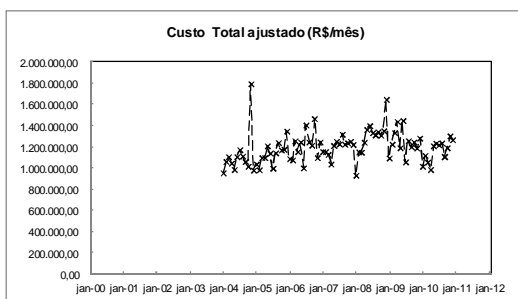


Figura 5.34 – Série temporal e box-whisker do custo total na ETE Brasília Norte.

5.1.2 ETE Samambaia

5.1.2.1 Caracterização e visita técnica

Conforme Caesb (2011), a Estação de Tratamento de Esgotos Samambaia, em operação desde 1996, foi projetada com capacidade média de 284 L/s, para atender a uma população de cerca de 180 mil habitantes. O sistema de tratamento da ETE Samambaia é constituído pelas seguintes unidades em série: grades e caixa de areia, reatores UASB inseridos na zona de entrada de lagoas facultativas, lagoas de alta taxa e lagoas de maturação seguidas de polimento final por flotação a ar dissolvido. O efluente final é lançado no rio Melchior.

Durante a visita técnica, foi observado tratar-se de uma ETE localizada ao lado de uma ETE maior, a ETE Melchior. Através de uma caixa de manobra é possível remanejar a destinação do efluente para uma das duas ETEs. Segundo informações da Caesb durante a visita, esta capacidade de remanejamento das vazões permite que não haja lançamento de esgoto bruto em eventos de falta de energia elétrica nas elevatórias. Ademais, existe uma capacidade de armazenamento de vazão nas lagoas de maturação, que podem trabalhar com nível variável.

Os esgotos sanitários chegam até a ETE Samambaia por gravidade. Além do esgoto doméstico, a ETE Samambaia recebe também lixiviado do aterro sanitário de Ceilândia. Foi estimado, pela equipe da Caesb que acompanhou a visita, o recebimento de cerca de 10 caminhões por dia de chorume. Além disso, há também o recebimento de lodo de caminhões limpa-fossa.

A etapa preliminar de tratamento consiste de unidades de gradeamento para a remoção de detritos grosseiros e desarenação para a remoção de areia do esgoto bruto. Após o tratamento preliminar, os esgotos são conduzidos para o tratamento biológico projetado e implementado pela Caesb. Através de caixas de distribuição, os esgotos chegam ao fundo dos reatores anaeróbios existentes no interior da lagoa facultativa. Os gases produzidos pela digestão anaeróbia são captados em campânulas de lona, que também possuem a função de impedir a saída de partículas de lodo deslocadas pelo fluxo gasoso, com possibilidade de envio para queimadores.

Os esgotos, após passarem por esse reator anaeróbio, encontram uma camada líquida oxidante, a própria lagoa facultativa, que cobre a parte superior das campânulas, evitando que

odores desagradáveis sejam liberados para atmosfera. Os sólidos que eventualmente não sejam retidos pelo reator sedimentam na própria lagoa facultativa.

Posteriormente, o efluente segue para uma lagoa de alta taxa, onde são criadas condições para maximizar a produção de algas e o processo de fotossíntese e assim obter o oxigênio necessário à estabilização aeróbia da matéria orgânica. Nesta célula é adotada uma profundidade reduzida de 0,5 a 1,0m, onde é realizada uma pequena agitação para facilitar o acesso das algas à luz solar. Devido à alta taxa de fotossíntese, ocorre um aumento do pH do líquido, o que, junto com a exposição aos raios ultravioleta do sol, contribui para uma maior taxa de inativação dos microrganismos patogênicos e para a remoção de nutrientes. A equipe da Caesb informou que os aeradores das lagoas de alta taxa não estão sendo utilizados desde o ano 2000, uma vez que foi observado que tal procedimento não alterou a eficiência da lagoa.

Em seguida, os esgotos chegam à lagoa de maturação, que complementa o tratamento, reduzindo a concentração de algas e de organismos patogênicos que porventura não foram removidos nas etapas anteriores.

De modo a adequar o efluente da estação para lançamento no Lago Corumbá, reservatório criado a jusante do Rio Melchior (corpo receptor da ETE Samambaia), a Caesb implantou uma etapa final de polimento químico composto de coagulação com sulfato de alumínio, floculação e flotação por ar dissolvido (FAD) (CAESB, 2011). A etapa de polimento final objetiva a remoção de algas e de fósforo e foi implantada ao final do ano de 2006, segundo informações recebidas quando da visita técnica. O lodo resultante desta etapa é direcionado para a lagoa de lodo da ETE Melchior.

Durante a visita foi observada a necessidade de manutenção em algumas etapas e unidades da ETE, como no tratamento preliminar (unidades de desarenação), nas lonas dos reatores UASB (várias rasgadas), nos queimadores de gás (sem funcionar) e no lodo depositado entre os referidos reatores e as lagoas facultativas (lodo aflorando à superfície, com necessidade de remoção). A Figura 5.35 apresenta o fluxograma da ETE Samambaia e a Figura 5.36 mostra algumas das estruturas da ETE durante a visita em 02 de março de 2011.

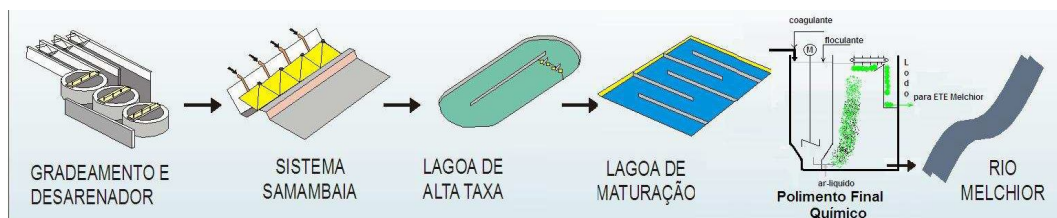


Figura 5.35 – Fluxograma da ETE Samambaia.

Fonte: Caesb (2011).



Figura 5.36 – Estruturas da ETE Samambaia – Visita técnica.

5.1.2.2 Análise dos dados de concentrações e eficiência de remoção

Concentrações do Afluente e do Efluente

A Tabela 5.10 apresenta os resultados de uma avaliação estatística descritiva das características do afluente e do efluente da ETE Samambaia, cobrindo o período de 2000 a 2011. As estatísticas descritivas e as dispersões encontram-se, na forma de gráficos *box-whisker*, na Figura 5.37. Para complementação da análise, nos referidos gráficos, são apresentadas também as metas de concentração do efluente que são definidas e avaliadas no

item 5.1.2.3. A Figura 5.38 apresenta as séries temporais da vazão e das concentrações afluentes e efluentes da ETE Samambaia. O estudo da influência da sazonalidade ocorreu a partir dos dados apresentados na Figura 5.39, em que se encontra uma comparação entre as médias das concentrações obtidas para o período seco, período chuvoso e todo o período monitorado, e na Figura 5.40, que mostra os resultados obtidos pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$).

Vale salientar que valores de concentração de coliformes termotolerantes no efluente iguais a zero foram substituídos por 2,0 NMP/100mL que é o valor mínimo capaz de ser reportado pelo método de análise (METCALF & EDDY, 2003). Estes valores reportados como iguais a zero muito provavelmente não representam efetivamente ausência de coliformes, e além disso dificultam alguns cálculos estatísticos, razão pela qual foram substituídos pelo valor mínimo reportável segundo a técnica do Número Mais Provável. No total, 20 valores foram substituídos.

Nota-se o elevado número de dados de cada parâmetro, o que aumenta bastante a confiabilidade das análises a serem efetuadas. A exceção ocorre para N amoniacal afluente e coliformes termotolerantes, sendo que o primeiro não é monitorado nesta ETE e é mais bem representado pelo NTK afluente, enquanto o segundo é monitorado com frequência bem menor que a dos outros parâmetros.

Pela avaliação dos dados, observa-se o substancial decréscimo das concentrações efluentes, comparadas com as afluentes, para todos os parâmetros analisados. Além disso, verifica-se que as concentrações efluentes tiveram uma substancial melhoria com a entrada em funcionamento do polimento por flotação no final de 2006.

Pelo teste de hipótese aplicado, observa-se haver diferença significativa nos níveis de vazão, sendo esta inferior no período seco, e nas concentrações efluentes de NTK, N amoniacal, fósforo total e coliformes termotolerantes, que são superiores no referido período.

Tabela 5.10 – Estatísticas descritivas referentes às concentrações de constituintes do afluente e do efluente da ETE Samambaia

Estatística	Vazão (m ³ /d)	DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)	
		Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
<i>Nº dados</i>	4083	431	422	713	705	712	703
Média	17970	513	29	773	133	393	66
Mediana	15464	480	25	762	143	380	66
Mínimo	0	60	1	64	8	43	1
Máximo	113187	1180	461	1777	1427	985	248
DP ¹	9703	180	30	252	105	147	52
CV ²	0,54	0,35	1,03	0,33	0,79	0,37	0,79

Estatística	NTK (mg/l)		N-Amon (mg/l)		P tot (mg/l)		Colif. Term. (NMP/100mL)	
	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
<i>Nº dados</i>	692	681	0	625	713	705	109	91
Média	69	36	-	24	10,0	5,0	3,79E+07	8,69E+03
Mediana	68	36	-	22	9,8	6,0	1,70E+07	1,30E+02
Mínimo	12	3	-	0	1,8	0,0	1,7E+03	1,80E+00
Máximo	194	91	-	80	52,0	21,2	9,00E+08	9,00E+04
DP ¹	17	13	-	14	3,3	4,1	9,30E+07	2,20E+04
CV ²	0,25	0,36	-	0,57	0,33	0,82	2,46	2,35

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

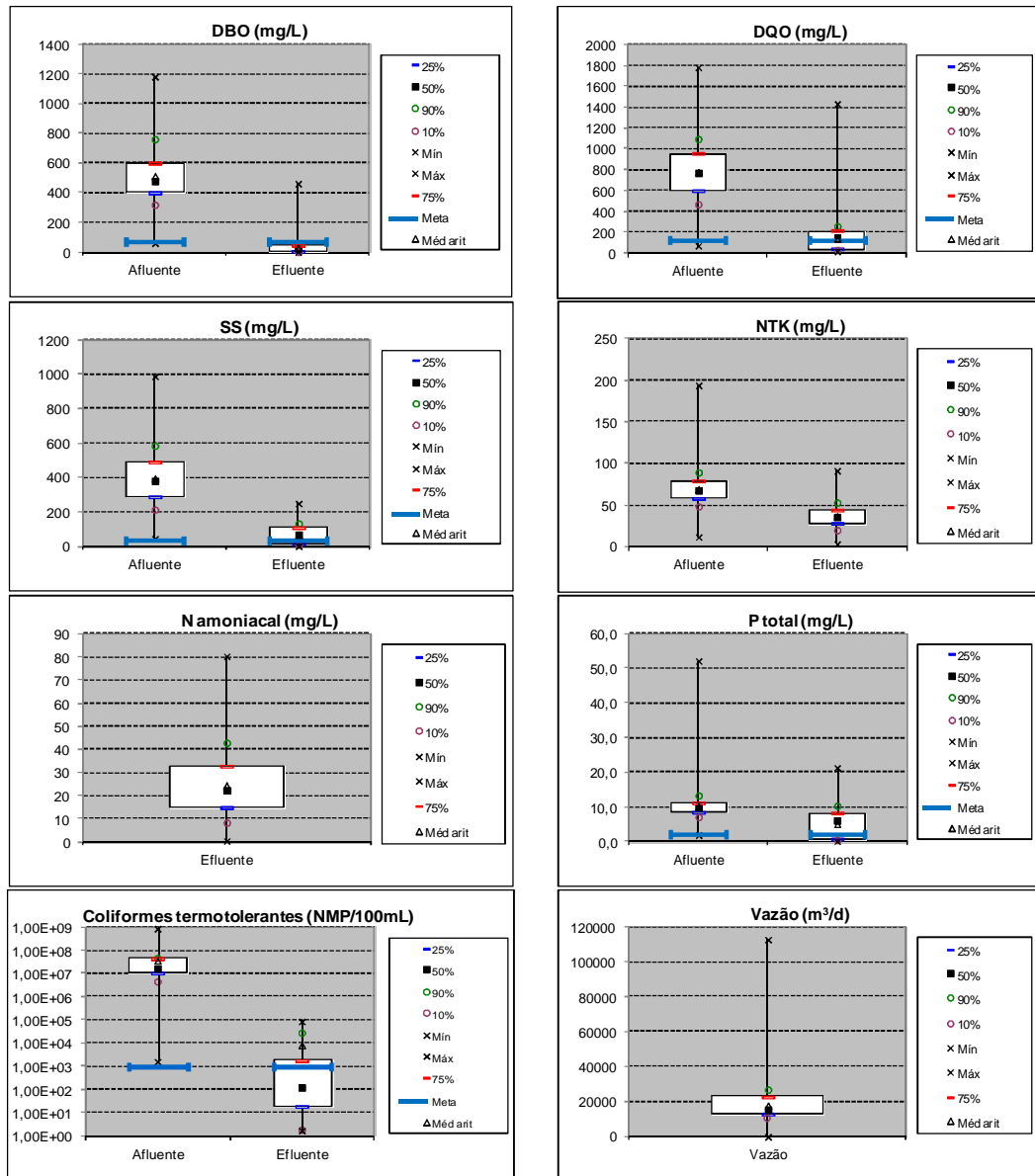


Figura 5.37 – Concentrações mínima, máxima, média aritmética e percentis do afluente e efluente da ETE Samambaia comparadas às metas de concentração efluente.

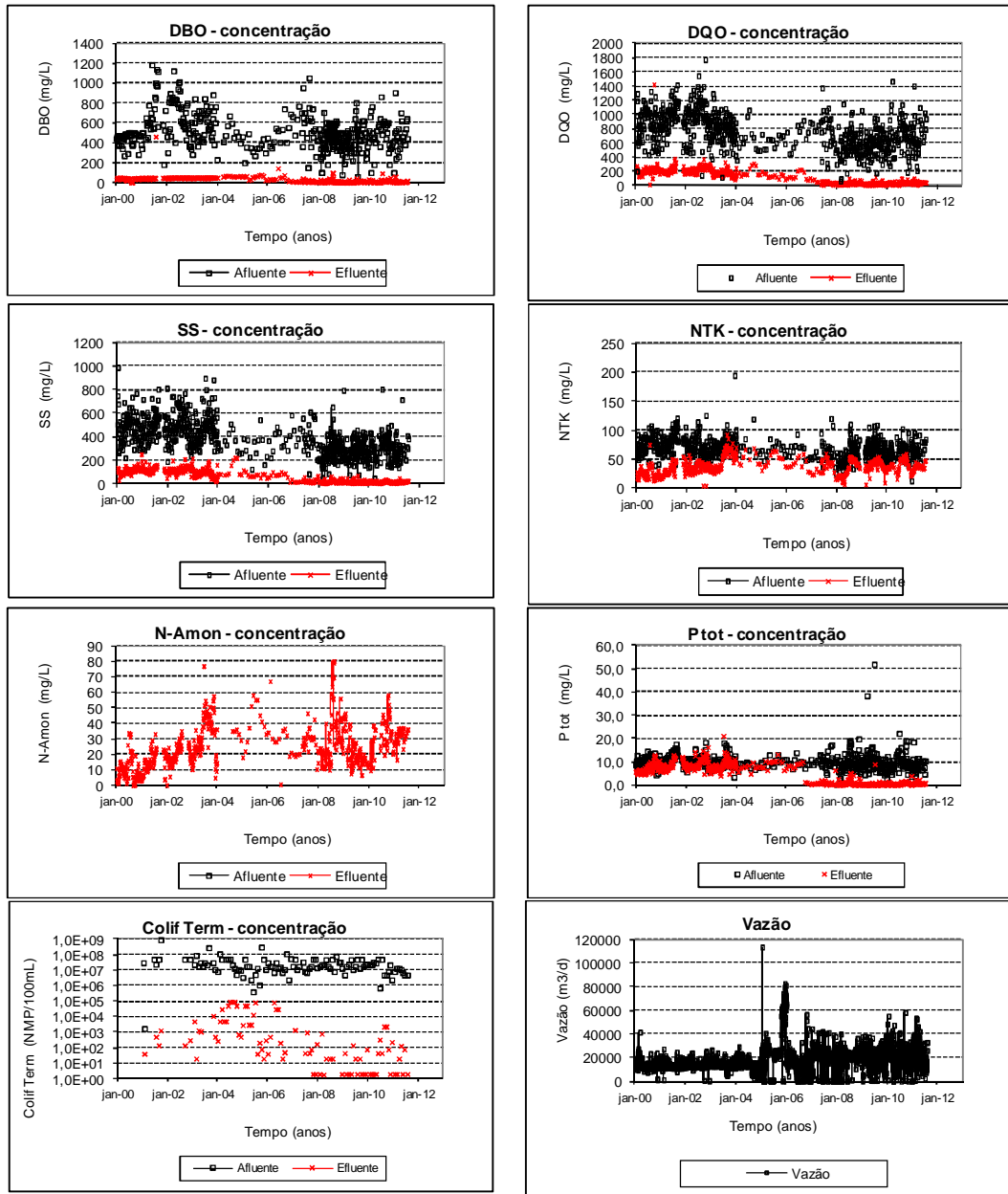


Figura 5.38 – Séries temporais das características do afluente e efluente da ETE Samambaia.

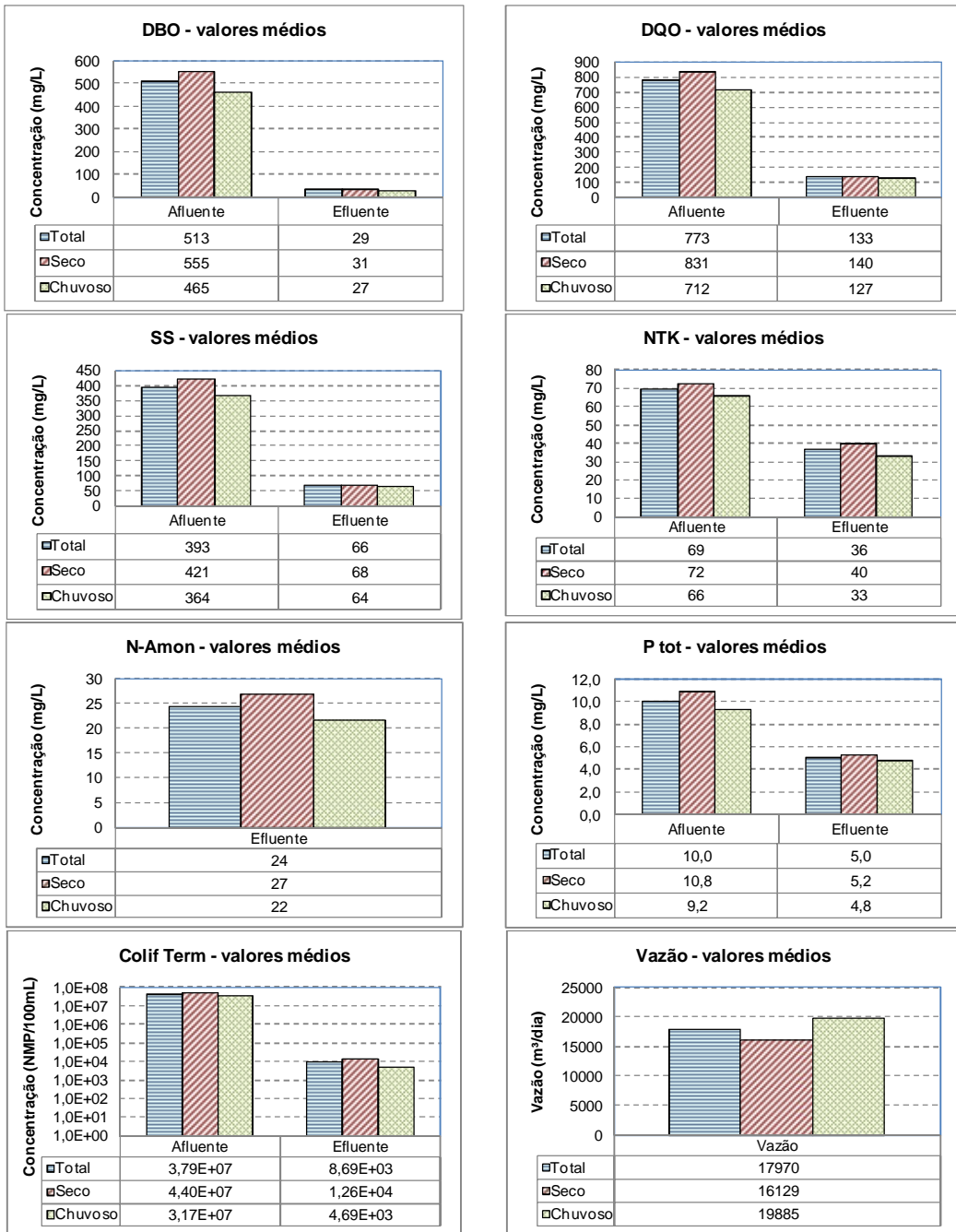
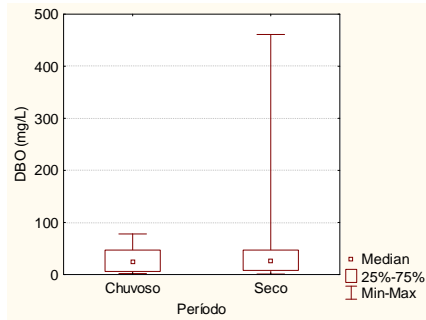
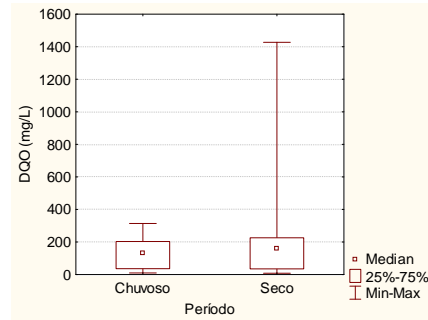


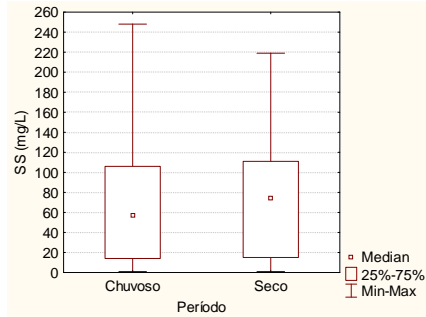
Figura 5.39 – Concentrações médias das características do afluente e efluente da ETE Samambaia em função da sazonalidade.



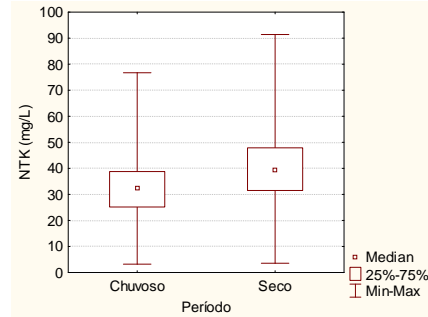
$p = 0,2237 > 0,05$: Não há dif. significativa



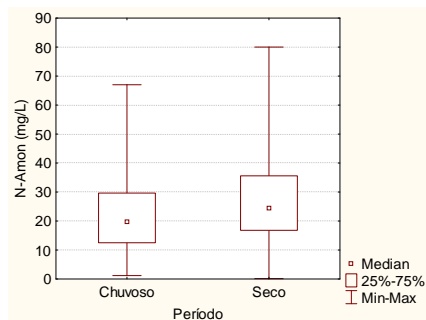
$p = 0,1466 > 0,05$: Não há dif. significativa



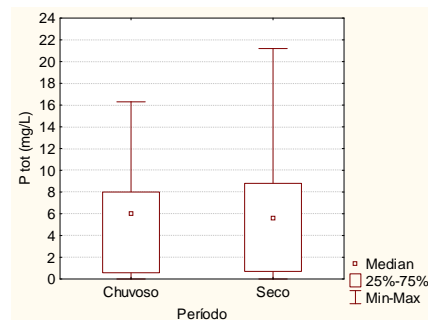
$p = 0,1661 > 0,05$: Não há dif. significativa



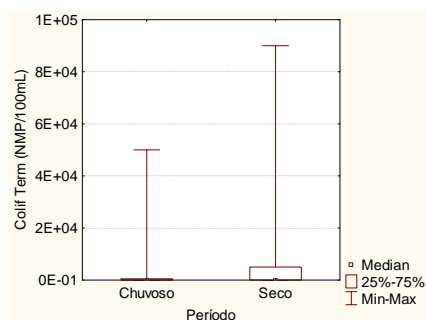
$p = 2,89E-13 < 0,05$: Dif. significativa



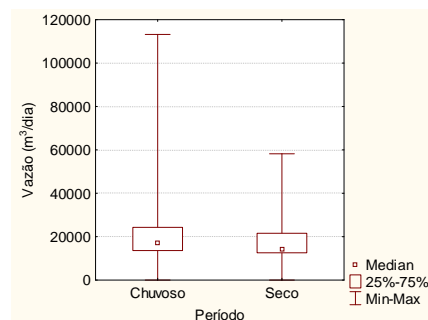
$p = 1,72E-6 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,0489 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,0384 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa

Figura 5.40 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas características do efluente e vazão da ETE Samambaia.

Eficiências de Remoção

A Tabela 5.11 apresenta os resultados de uma avaliação estatística descritiva das eficiências de remoção da ETE Samambaia, cobrindo o período de 2000 a 2011. A Figura 5.41 apresenta, na forma de gráfico *box-whisker*, a estatística descritiva e a dispersão das eficiências do sistema na remoção de cada parâmetro analisado. Para complementação da análise, no referido gráfico, são apresentadas também as metas de eficiência de remoção que são definidas e avaliadas no item 5.1.2.3. Em seguida, a Figura 5.42 apresenta as séries temporais das eficiências de remoção da ETE Samambaia para DBO, DQO, sólidos suspensos, NTK, fósforo total e coliformes termotolerantes. Com relação à influência da sazonalidade, na Figura 5.43 são apresentadas as eficiências médias da ETE Samambaia no período seco, período chuvoso e no período total considerado, enquanto na Figura 5.44 encontram-se os resultados obtidos ao se comparar os dados do período seco com os dados do período chuvoso pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$).

Devido à reduzida quantidade de resultados da concentração de N amoniacal no afluente, não será avaliada a eficiência de remoção deste parâmetro pela ETE em questão. Com relação às eficiências de remoção dos coliformes termotolerantes, optou-se por apresentá-las em unidades log removidas para melhor visualização dos resultados.

Para a maior parte dos parâmetros nota-se uma mudança nos percentuais de eficiência de remoção a partir do ano de 2007, que possivelmente se deve à incorporação do polimento por flotação. Além disso, para quase todos os parâmetros, as eficiências de remoção encontram-se medianas ou baixas, sendo que apenas para os parâmetros DBO e coliformes termotolerantes a maior parte das eficiências são elevadas. Isto se deve ao fato de se estar considerando todo o período estudado e não apenas o período após a implantação da melhoria, como será avaliado no item 5.1.2.6.

Pelo teste de hipótese aplicado, verifica-se que a sazonalidade não interfere na eficiência do sistema de modo representativo para todos os parâmetros, com exceção apenas do NTK, que apresenta mediana levemente superior no período chuvoso.

Tabela 5.11 – Estatísticas descritivas referentes às eficiências de remoção da ETE Samambaia

Estatística	DBO (%)	DQO (%)	SS (%)	NTK (%)	P tot (%)	Colif. Term.	
						(%)	(unid.log) ⁽¹⁾
Nº dados	411	692	691	669	692	90	90
Média	94,2	82,6	83,7	45,3	49,3	99,9	2,87
Mediana	95,0	82,3	84,5	48,0	40,2	100,0	5,12
Mínimo	53,9	-115,6	-10,3	-87,6	-164,7	96,8	1,49
Máximo	99,7	98,9	99,8	97,4	100,0	100,00	7,39
Coef. Var	0,06	0,19	0,16	0,46	0,86	0,0048	0,0007
Desv. padrão	5,3	15,9	13,0	20,9	42,3	0,48	0,00208

⁽¹⁾Unidades log removidas = $-\log(1 - \text{Efic}\%/100)$.

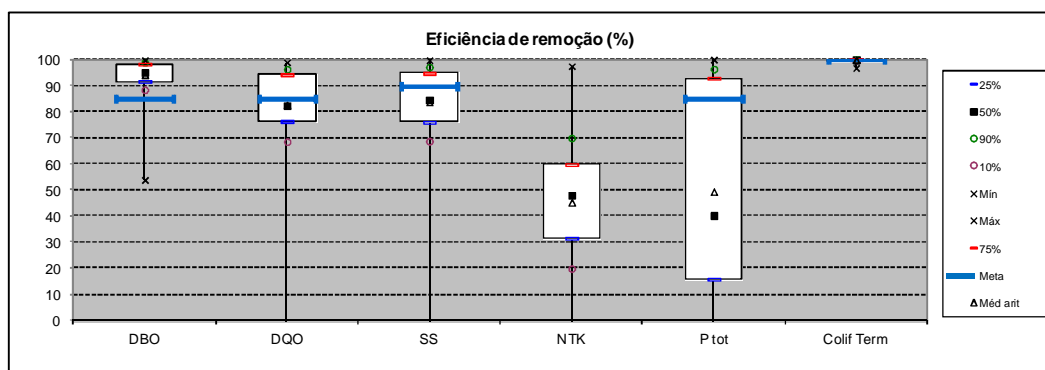


Figura 5.41 – Eficiências mínima, máxima e percentis de percentual de remoção de cada parâmetro da ETE Samambaia comparadas às metas de eficiência.

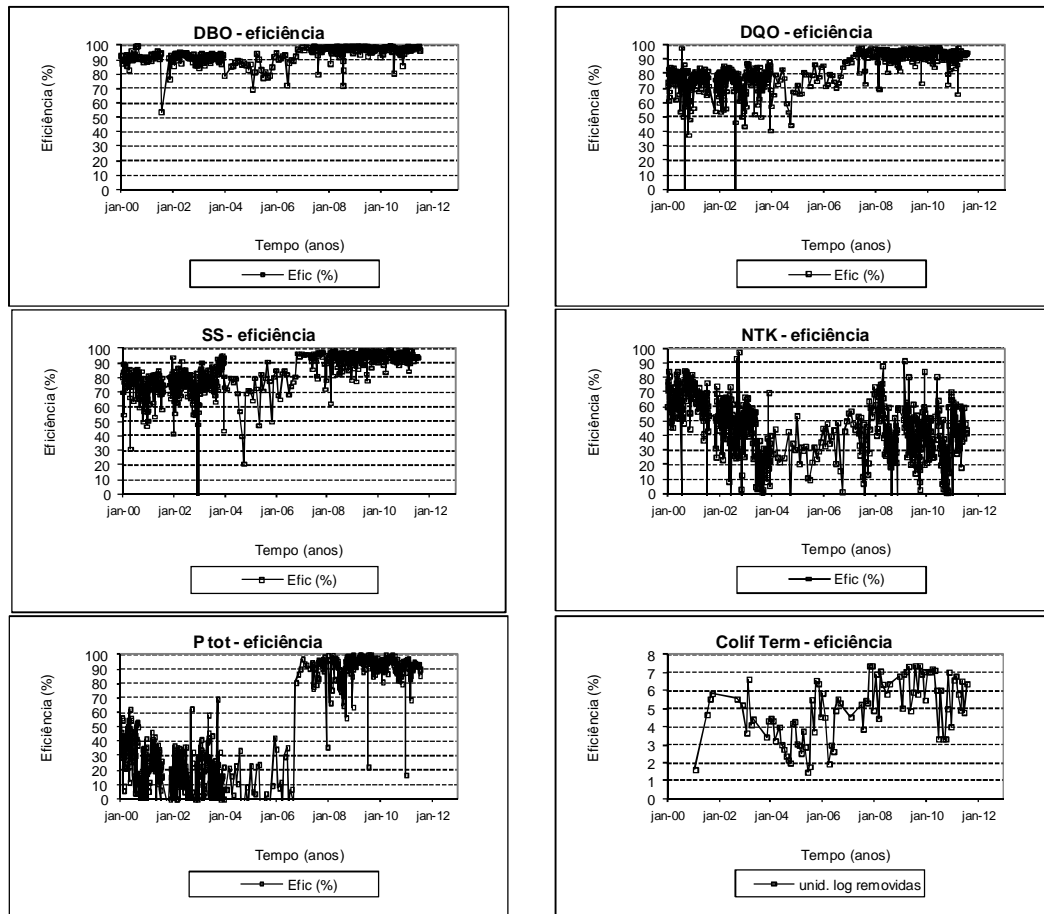


Figura 5.42 – Séries temporais das eficiências de remoção da ETE Samambaia.

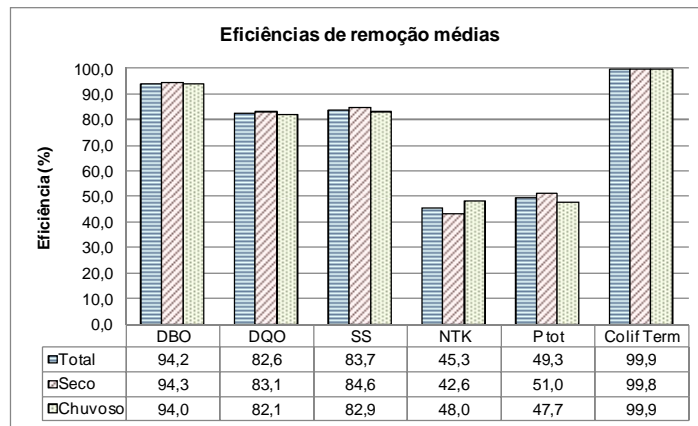


Figura 5.43 – Eficiências médias da ETE Samambaia em função da sazonalidade.

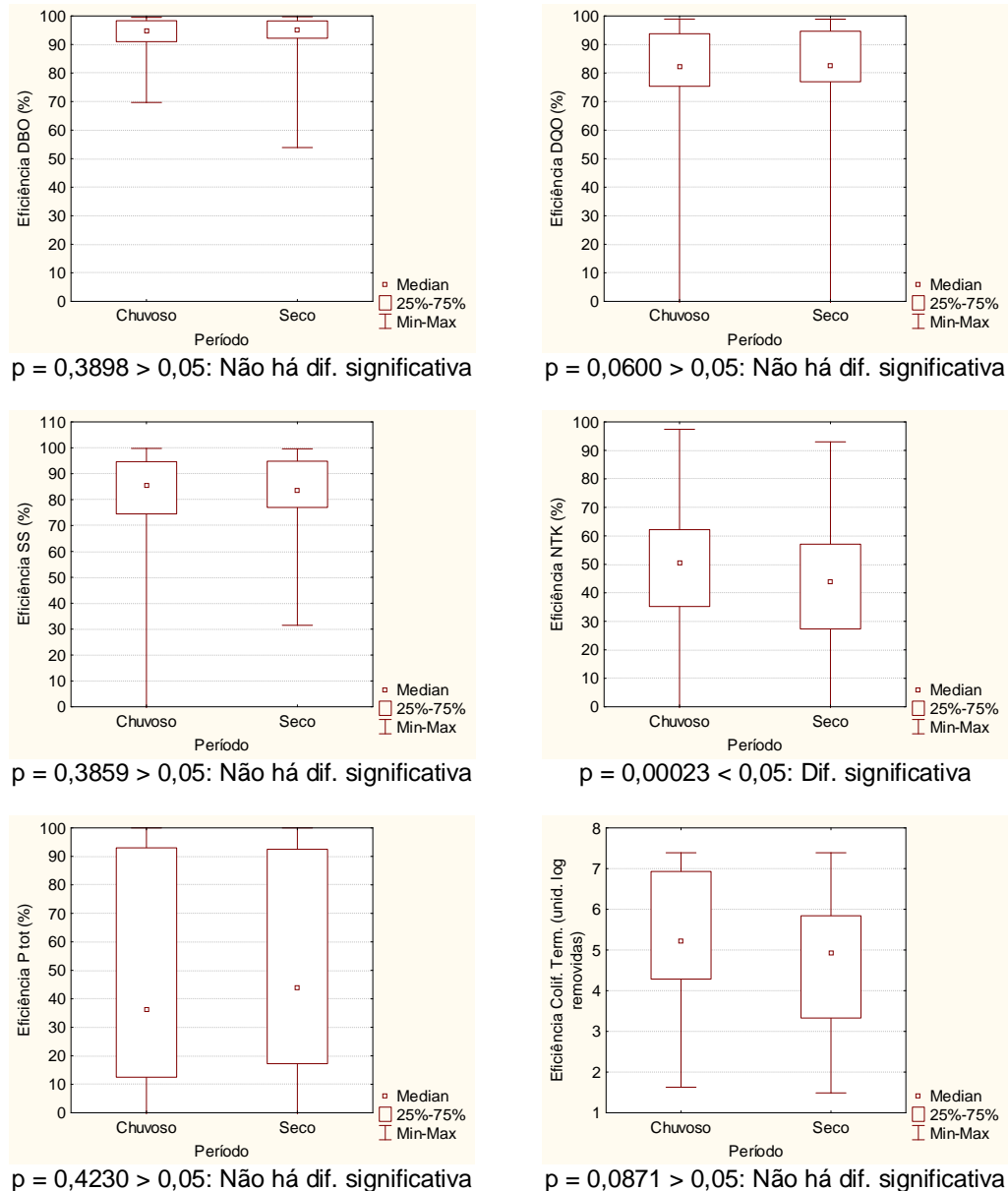


Figura 5.44 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas eficiências de remoção da ETE Samambaia.

5.1.2.3 Determinação das metas de qualidade e avaliação do atendimento

Na Tabela 5.12 encontram-se discriminadas as metas de qualidade das concentrações efluentes e eficiências de remoção consideradas no presente estudo para a ETE Samambaia. A determinação das mesmas ocorreu conforme mencionado no item 5.1.1.3 do presente estudo. Vale ressaltar que as metas de eficiência de remoção de DBO e SS correspondem ao padrão D do Prodes, uma vez que este é o padrão utilizado pela Caesb para a ETE Samambaia.

Tabela 5.12 – Metas adotadas para avaliação de desempenho da ETE Samambaia.

Meta	DBO	DQO	SS	NTK	N-Amon	P tot	Colif Term
Concentr. Efluente	75mg/L	125mg/L	40mg/L	-	-	2,0mg/L	10 ³ NMP/100mL
Eficiência Remoção	85%	85%	90%	-	-	85%	99,99%

Concentrações do Efluente

As porcentagens de atendimento às metas determinadas para as concentrações no efluente da ETE Samambaia encontram-se na Figura 5.45. Os resultados obtidos pela comparação dos percentuais de atendimento às metas no período seco e no período chuvoso, pelo teste U de Mann-Whitney encontram-se na Figura 5.46. Em seguida, a Figura 5.47 mostra a porcentagem de atendimento anualmente.

Nota-se que, até o ano de 2006 os percentuais de atendimento anuais às metas sofriam grandes variações. A partir de 2007, ano em que se iniciou o polimento químico, são observadas variações menos representativas e uma elevação destes percentuais, sendo superiores a 80% para todos os parâmetros. Pelo teste U de Mann-Whitney, observa-se não haver diferença significativa nos percentuais de atendimento às metas de concentração no efluente em função da sazonalidade.

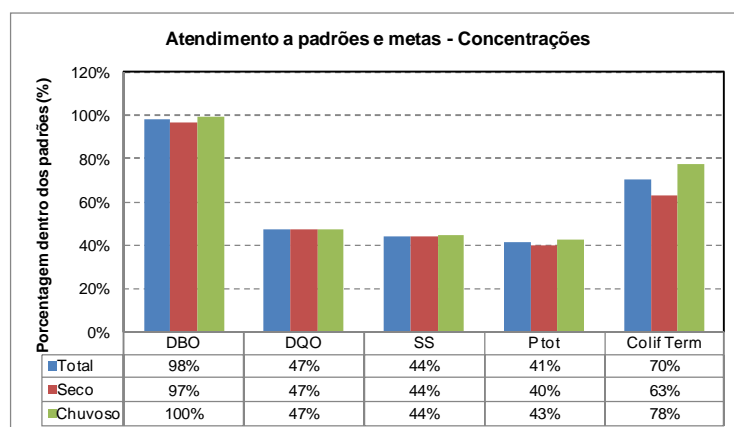
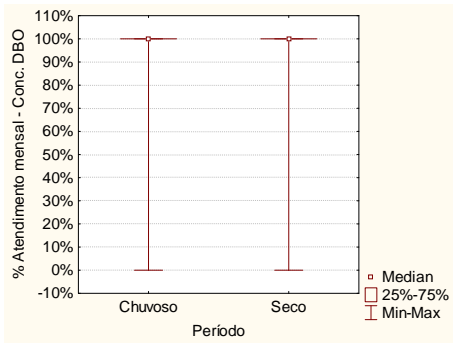
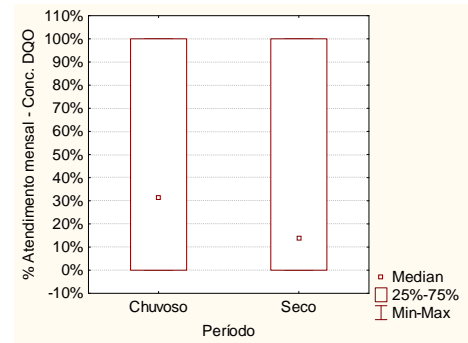


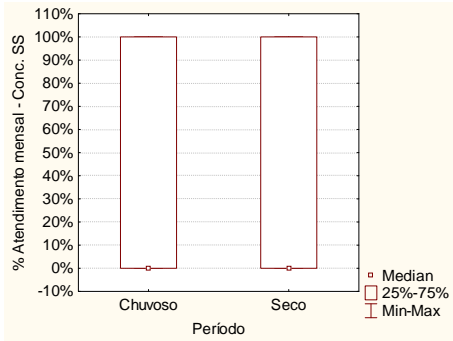
Figura 5.45 – Porcentagem de atendimento das concentrações do efluente da ETE Samambaia às metas em função da sazonalidade.



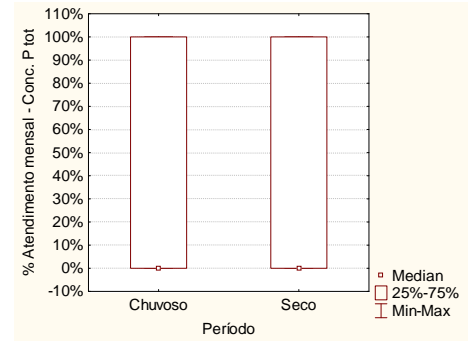
$p = 0,3854 > 0,05$: Não há dif. significativa



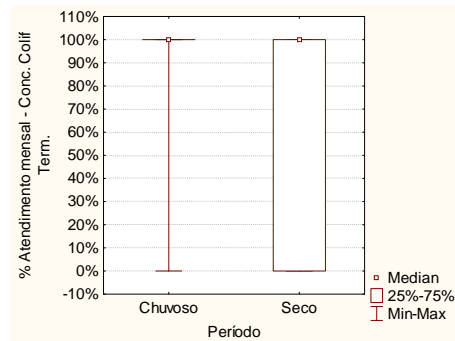
$p = 0,8074 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,6985 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,5954 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,2451 > 0,05$: Não há dif. significativa

Figura 5.46 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de concentração pela ETE Samambaia.

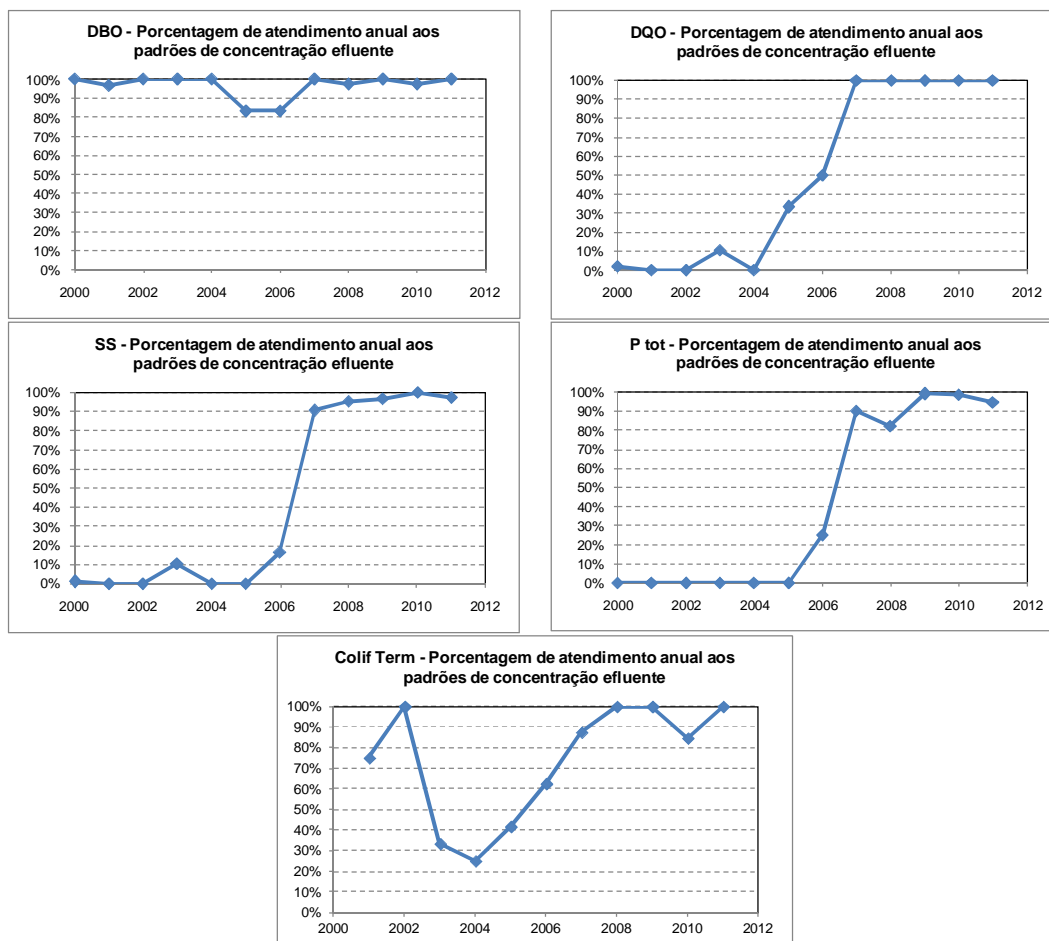


Figura 5.47 – Percentagem de atendimento anual às metas para a concentração efluente da ETE Samambaia.

Eficiências de remoção

As porcentagens de atendimento às metas estabelecidas para as eficiências de remoção da ETE Samambaia encontram-se na Figura 5.48 para todo o período amostrado, para o período seco e para o período chuvoso separadamente. A Figura 5.49 mostra os resultados obtidos pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), ao se compararem os referidos períodos. A Figura 5.50 apresenta a porcentagem de atendimento anual às mesmas metas. Vale ressaltar que não foi adotado um valor como meta de eficiência de remoção para o parâmetro nitrogênio amoniacal.

Nota-se que, até o ano de 2006, os percentuais de atendimento anuais às metas sofriam grandes variações e eram baixos para a maior parte dos parâmetros. A partir do ano de 2007, o atendimento às metas de eficiências de remoção passam a ser maiores, sendo estes superiores a 70% para todos os parâmetros analisados. O teste U de Mann-Whitney indicou não haver

diferença significativa nos percentuais de atendimento às metas das eficiências em função da sazonalidade.

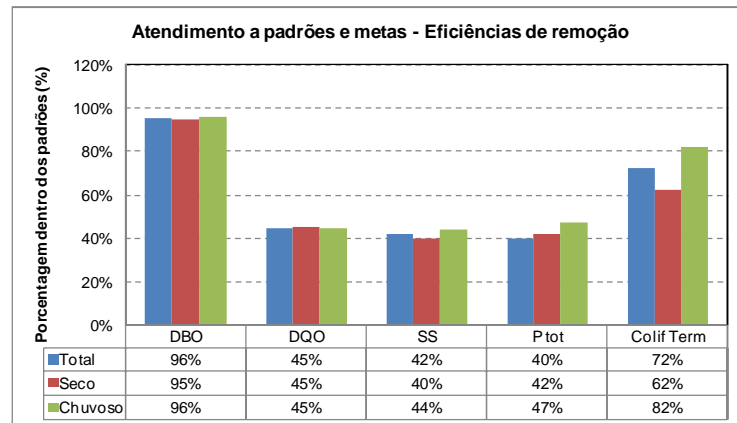
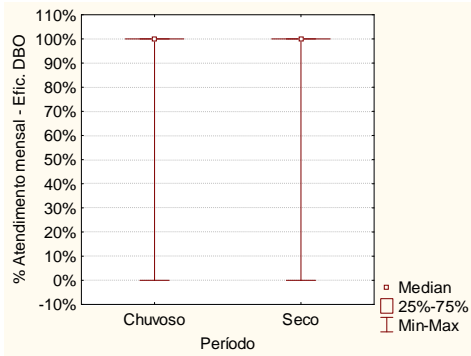
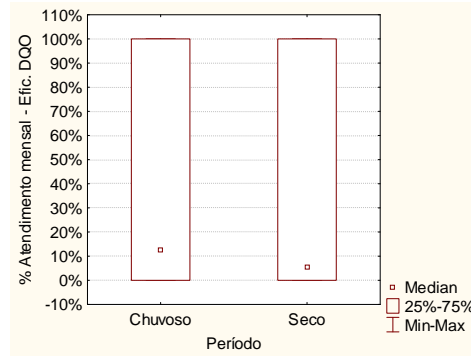


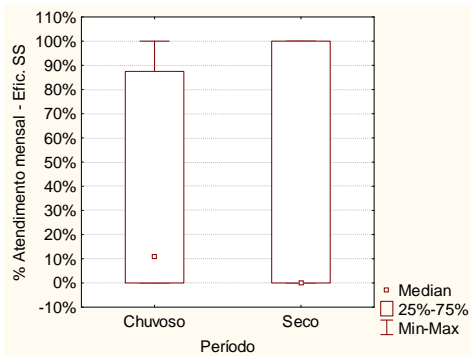
Figura 5.48 – Percentagem de atendimento das eficiências de remoção da ETE Samambaia às metas em função da sazonalidade.



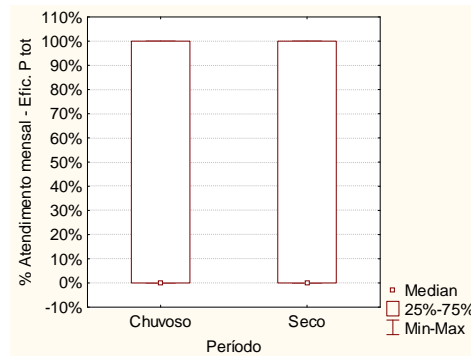
$p = 0,6181 > 0,05$: Não há dif. significativa



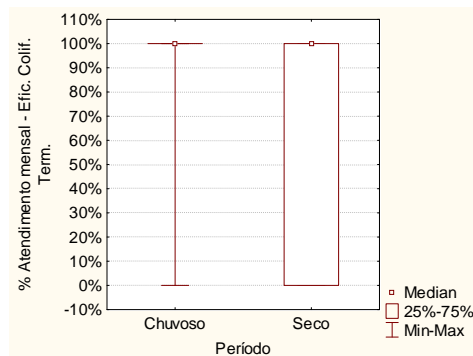
$p = 0,9116 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,7396 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,9980 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,1113 > 0,05$: Não há dif. significativa

Figura 5.49 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de eficiência pela ETE Samambaia.

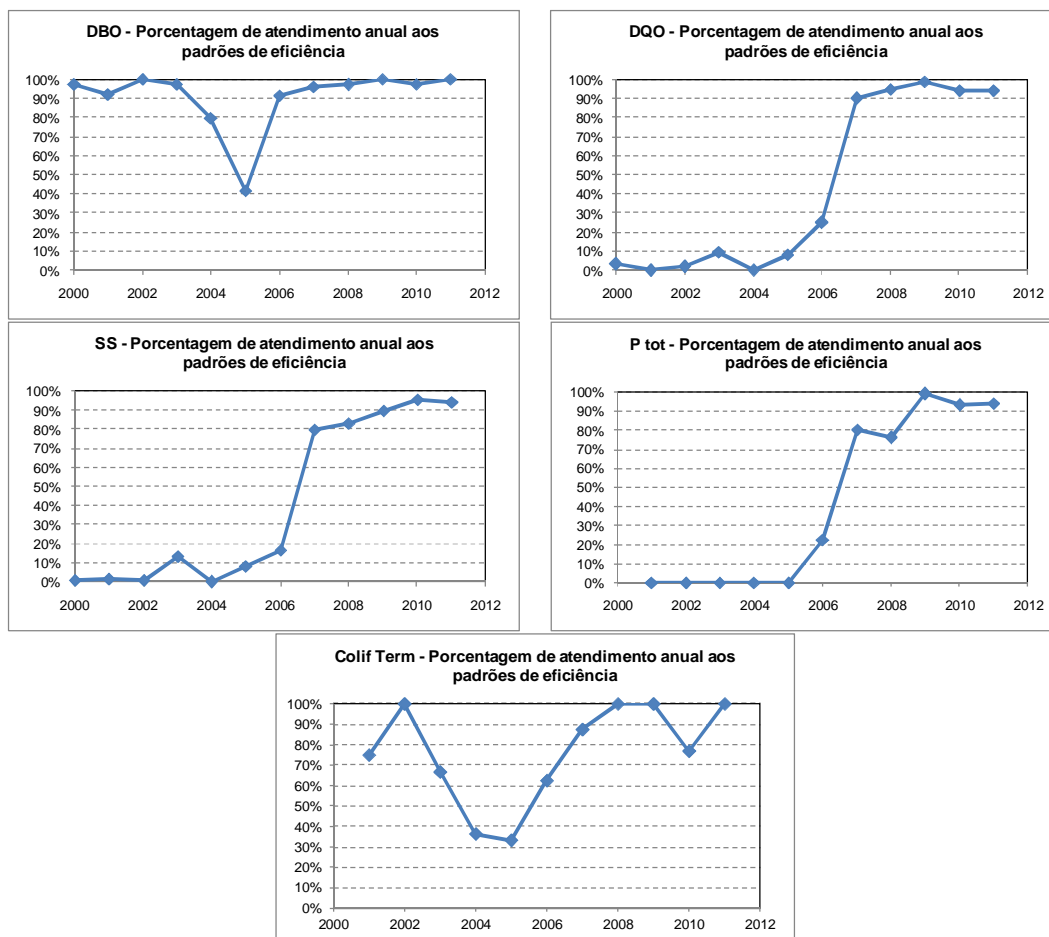


Figura 5.50 – Porcentagem de atendimento anual às metas de eficiências de remoção da ETE Samambaia.

5.1.2.4 Análise de confiabilidade dos processos de tratamento

A Figura 5.51 e a Figura 5.52 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 5.51 são próximos, para a maior parte dos parâmetros, aos apresentados na Figura 5.45 (porcentagem de atendimento às metas de concentrações efluentes da ETE Samambaia), indicando a aplicabilidade do conceito. Vale ressaltar que os valores nulos da referida figura devem ser desconsiderados.

Os valores apresentados na Figura 5.52 representam o coeficiente de confiabilidade obtido para cada um dos parâmetros de qualidade usando a Equação 4.2, apresentada no item 4.2.4. Por exemplo, caso se deseje uma confiabilidade de 90% (atendimento à meta de qualidade em

90% do tempo) para DBO, tem-se o CDC de 0,48 (ver tabela constante da figura). Dessa forma, para se cumprir com a meta de 30 mg/L em 90% do tempo, a estação deveria operar de maneira tal a produzir uma média da concentração efluente igual a $0,48 \times 30 = 14,4$ mg/L.

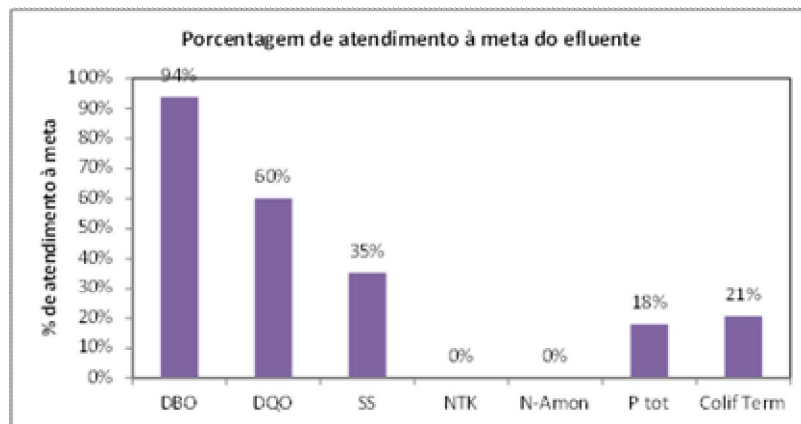


Figura 5.51 – Porcentagem de atendimento esperado à meta do efluente da ETE Samambaia.

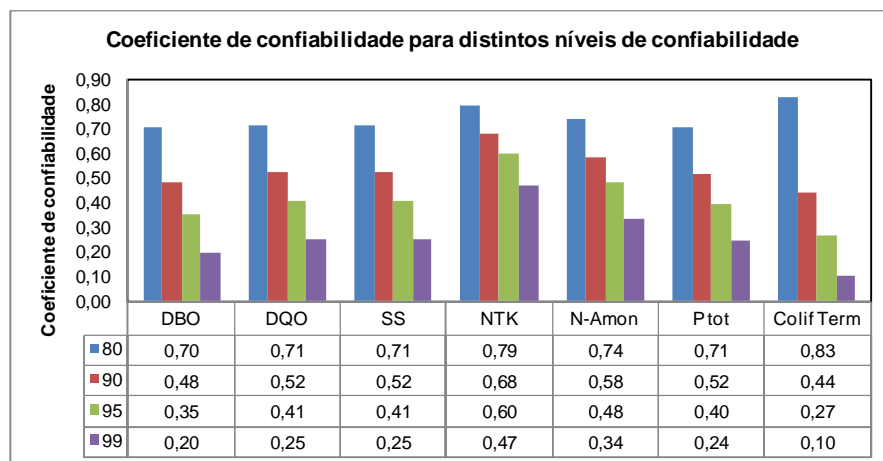


Figura 5.52 – Coeficiente de confiabilidade para distintos níveis de confiabilidade.

5.1.2.5 Verificação da utilização da capacidade instalada

A ETE Samambaia foi projetada para uma vazão média de 284 L/s (24538 m³/d). A Figura 5.53 apresenta a relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto. Nota-se que a estação trabalhou com folga, no que diz respeito às cargas hidráulicas, até o ano de 2004, utilizando até 58% da capacidade instalada. No ano de 2005, percebe-se uma sobrecarga na estação com a vazão média anual alcançando 109% da vazão de projeto. Porém no ano seguinte, em 2006, a utilização da capacidade instalada retorna a 58% e, a partir daí, observa-se o aumento deste percentual ao longo dos anos, obtendo-se o valor de 92% em 2007. Vale ressaltar que a ETE Samambaia apresenta um sistema robusto devido à capacidade de remanejamento de vazões

para a ETE Melchior, e também por ser constituído de lagoas com alturas variáveis. Dessa forma, é possível que tenha capacidade de trabalhar temporariamente com vazões superiores à vazão de projeto, sendo adotadas práticas operacionais adequadas.

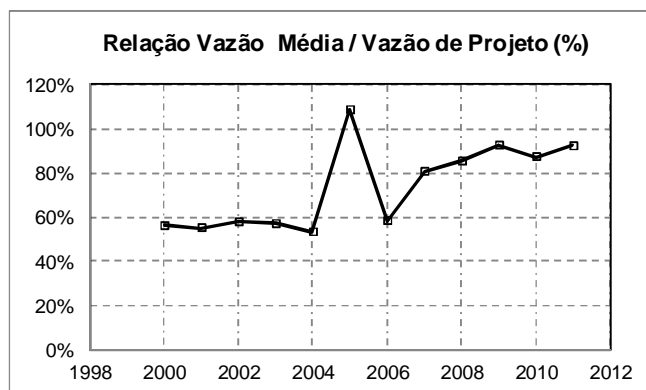


Figura 5.53 – Relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto da ETE Samambaia.

5.1.2.6 Avaliação do impacto da implantação de melhorias

A partir de final do ano de 2006 foi adotado, para melhoria do processo da ETE Samambaia, o polimento químico composto de coagulação com sulfato de alumínio, floculação e flotação por ar dissolvido. O presente item avalia a influência desta melhoria no processo nas concentrações do efluente, no atendimento às metas e na eficiência da unidade.

Concentrações do Efluente

A Tabela 5.13 apresenta uma comparação entre as estatísticas descritivas e as porcentagens de atendimento das concentrações de antes de se adotar o polimento químico (janeiro de 2000 a dezembro de 2006) e do período após este momento (janeiro de 2007 a agosto de 2011). A implantação do polimento químico proporcionou uma grande redução na concentração de todos os parâmetros, com exceção apenas do NTK e N amoniacal (que, de fato, não são afetados por precipitação química, coagulação e separação sólido-líquido por flotação). Os percentuais de atendimento às metas de concentração passaram a ser atendidos por uma porcentagem extremamente superior após a melhoria do processo.

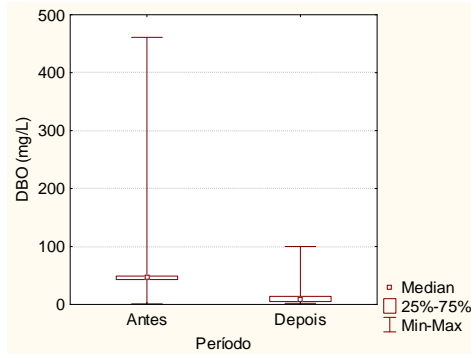
Pelo teste U de Mann-Whitney, com um nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), foi verificado haver diferença significativa nos níveis de vazão e nas concentrações efluentes de todos os parâmetros considerados (Figura 5.54). Ao se avaliar a influência da melhoria no processo da ETE Samambaia no atendimento às metas determinadas para o efluente pelo mesmo teste, foi identificada diferença significativa entre os percentuais de atendimento de todos os

parâmetros analisados com exceção apenas de DBO (Figura 5.55). Após a melhoria no processo a mediana de todos os parâmetros alcançou 100% de atendimento às metas.

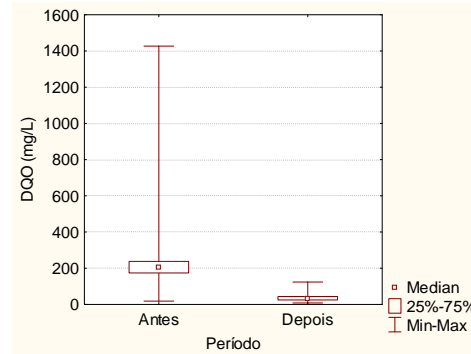
Tabela 5.13 – Comparação das estatísticas descritivas e dos atendimentos às metas de concentrações efluente de antes e depois da melhoria no processo da ETE Samambaia.

Estatística	Vazão (m ³ /d)		DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
<i>Nº dados</i>	2463	1620	197	225	395	310	395	308
Média	15724	21383	48	12	210	36	105	15
Mediana	13792	22441	47	8	205	34	106	13
Mínimo	0	0	1	2	19	8	12	1
Máximo	113187	58190	461	100	1427	124	248	66
Coef. Var	0,64	0,37	0,67	1,09	0,38	0,47	0,32	0,66
Desv. padrão	10069	7990	32	13	79	17	34	10
Atendim.a meta	-	-	97%	99%	6%	100%	3%	96%

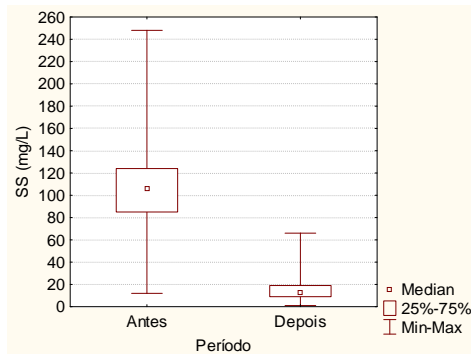
Estatística	NTK (mg/l)		N-Amon (mg/l)		P tot (mg/l)		Colif Term (NMP/100mL)	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
<i>Nº dados</i>	392	289	364	261	395	310	44	47
Média	36	37	21	29	8,3	0,8	1,78E+04	2,01E+02
Mediana	34	37	19	27	8,0	0,6	1,30E+03	2,00E+01
Mínimo	3	5	0	7	0,9	0,0	2,00E+01	1,80E+00
Máximo	91	58	77	80	21,2	9,0	9,00E+04	2,30E+03
Coef. Var	0,41	0,29	0,64	0,45	0,27	1,17	1,64	2,59
Desv. Padrão	15	11	14	13	2,3	1,0	2,91E+04	5,20E+02
Atendim.a meta	-	-	-	-	1%	97%	45%	94%



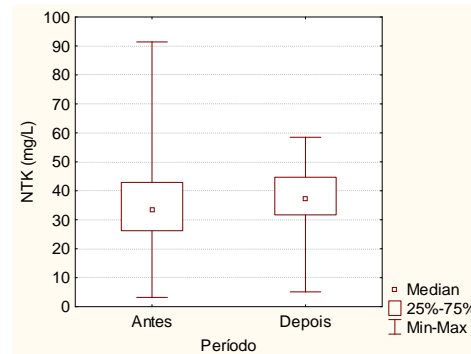
$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa



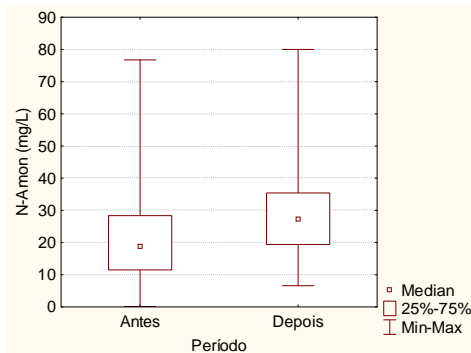
$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa



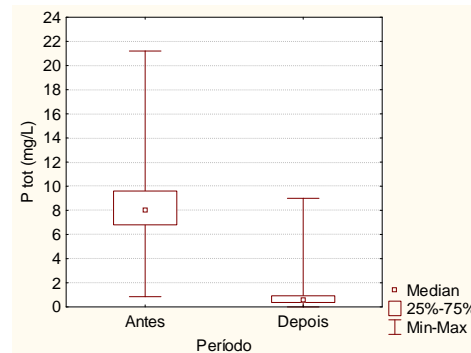
$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa



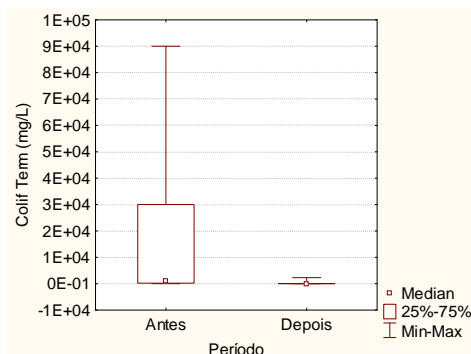
$p = 0,0061 < 0,05$: Dif. significativa



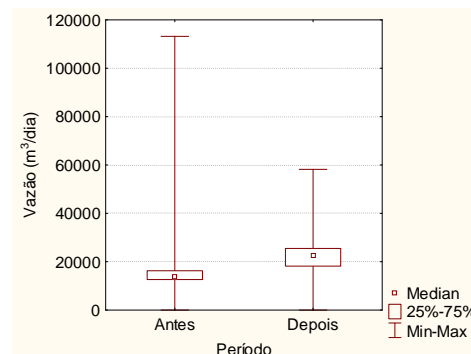
$p = 2,84E-13 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 1,71E-10 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,00 < 0,05$: Dif. significativa

Figura 5.54 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo nas características do efluente da ETE Samambaia.

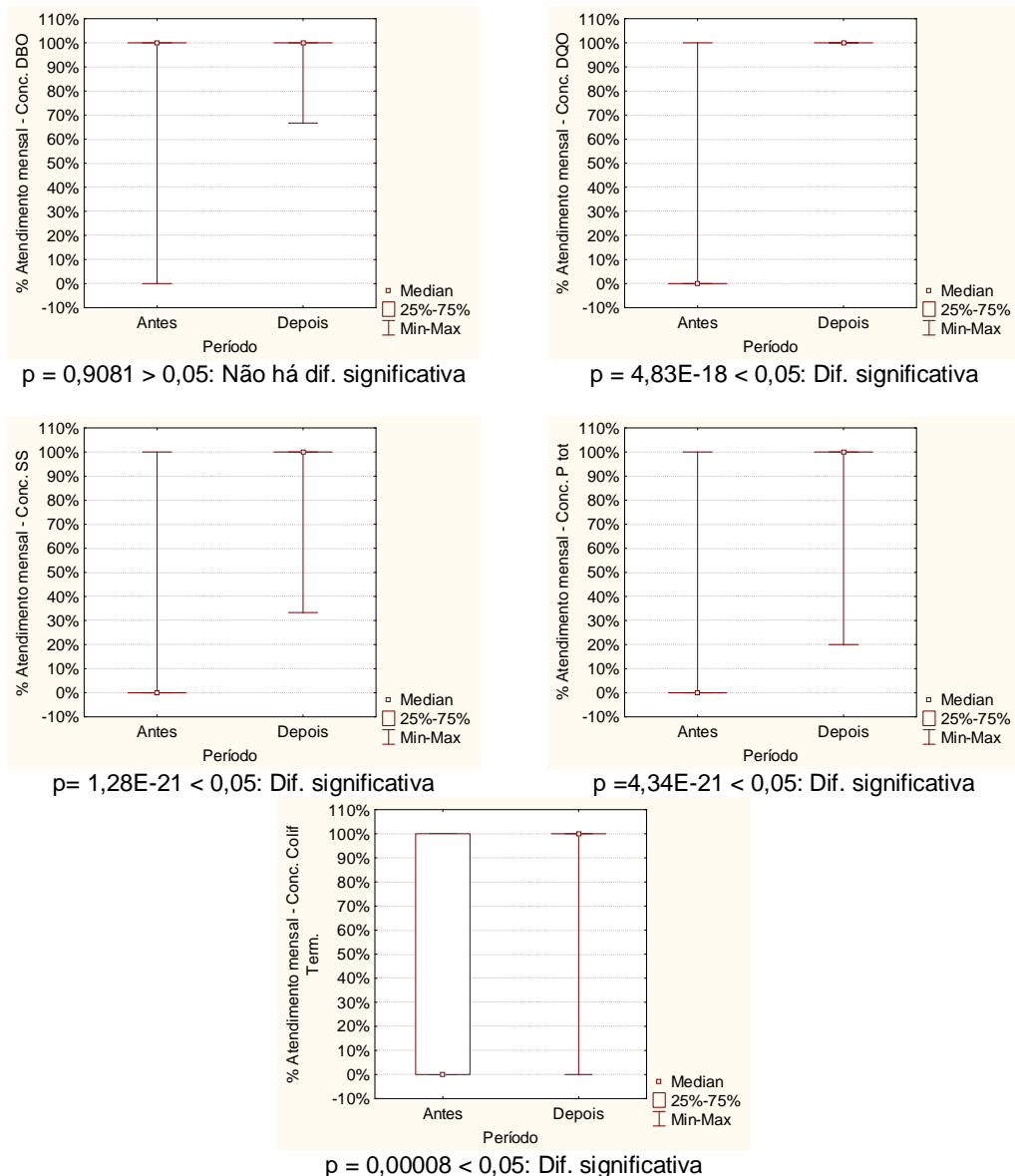


Figura 5.55 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo da ETE Samambaia no atendimento às metas de concentração pelo efluente.

Eficiências de Remoção

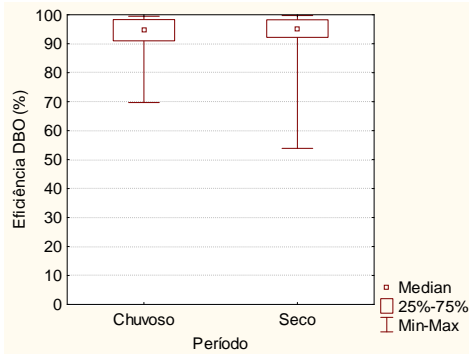
A Tabela 5.14 apresenta uma comparação entre as estatísticas descritivas e as porcentagens de atendimento das eficiências de remoção de antes de se adotar o polimento químico (janeiro de 2000 a dezembro de 2006) e do período após este momento (janeiro de 2007 a agosto de 2011). Nota-se que o percentual de atendimento às metas de eficiência de remoção de fósforo total e sólidos suspensos, para os quais o polimento químico foi implantado, passou de 1% para 89% (fósforo) e de 5% para 89% (SS).

Pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), verifica-se diferença significativa nos níveis de eficiência da ETE Samambaia em função da melhoria no processo apenas para o NTK, para o qual o teste de hipótese indica redução nos valores de eficiência de remoção após implantação do polimento final (Figura 5.56). Ao se avaliar a influência da melhoria no processo no atendimento às metas de eficiência de remoção, pelo mesmo teste, observou-se diferença significativa entre os percentuais de atendimento às metas de eficiência de todos os parâmetros analisados com exceção apenas de DBO (Figura 5.57). Após a melhoria no processo, a mediana de todos os parâmetros alcançou 100% de atendimento às metas de eficiência.

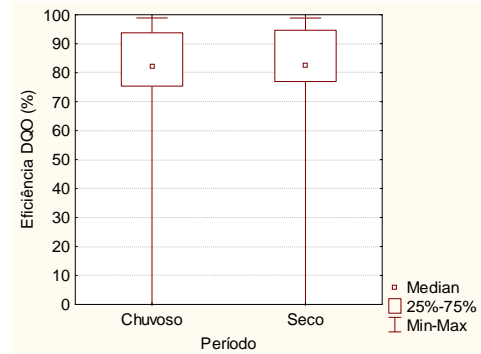
Tabela 5.14 – Comparação das estatísticas descritivas e dos atendimentos às metas das eficiências de antes e depois da melhoria no processo da ETE Samambaia.

Estatística	DBO (%)		DQO (%)		SS (%)	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
<i>Nº dados</i>	192	219	386	306	387	304
Média	90,7	97,2	73,9	93,6	75,5	94,2
Mediana	91,6	98,1	77,3	94,6	77,3	95,1
Mínimo	53,9	72,2	-115,6	66,4	-10,3	62,8
Máximo	99,7	99,6	98,2	98,9	97,0	99,8
Coef. Var	0,05	0,03	0,22	0,05	0,15	0,05
Desv. padrão	5,0	3,2	16,3	4,5	11,6	4,5
Atendim. meta	93%	98%	5%	95%	5%	89%

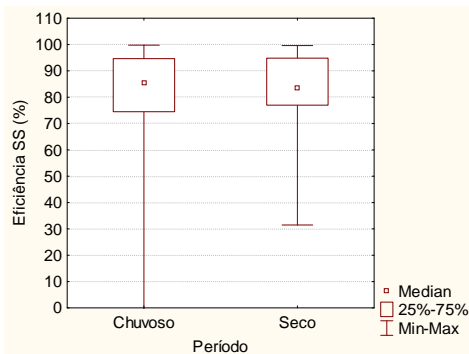
Estatística	NTK (%)		P tot (%)		Colif Term (unid. log removidas)	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
<i>Nº dados</i>	383	286	385	307	43	47
Média	49,2	39,9	15,9	91,3	2,56	4,42
Mediana	52,7	41,3	19,2	93,7	4,12	6,36
Mínimo	-15,3	-87,6	-164,7	16,7	1,49	3,33
Máximo	97,4	91,3	90,29	100,00	6,65	7,39
Coef. Var	0,42	0,49	1,56	0,10	0,00003	0,000001
Desv. padrão	20,9	19,7	24,8	9,3	0,00290	0,00005
Atendim. a meta	-	-	1%	89%	51%	94%



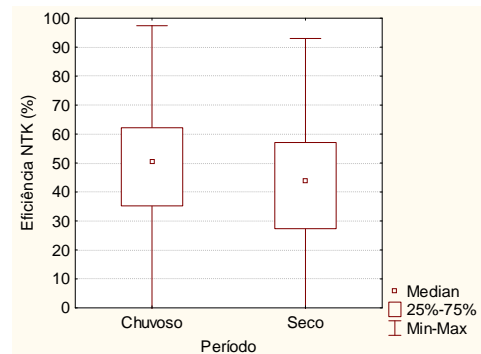
$p = 0,3898 > 0,05$: Não há dif. significativa



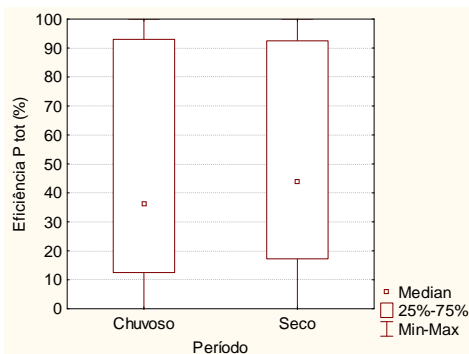
$p = 0,0600 > 0,05$: Não há dif. significativa



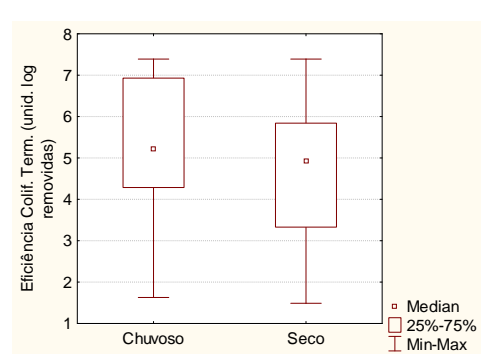
$p = 0,3859 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,00023 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,4230 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,0871 > 0,05$: Não há dif. significativa

Figura 5.56 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo nas eficiências de remoção da ETE Samambaia.

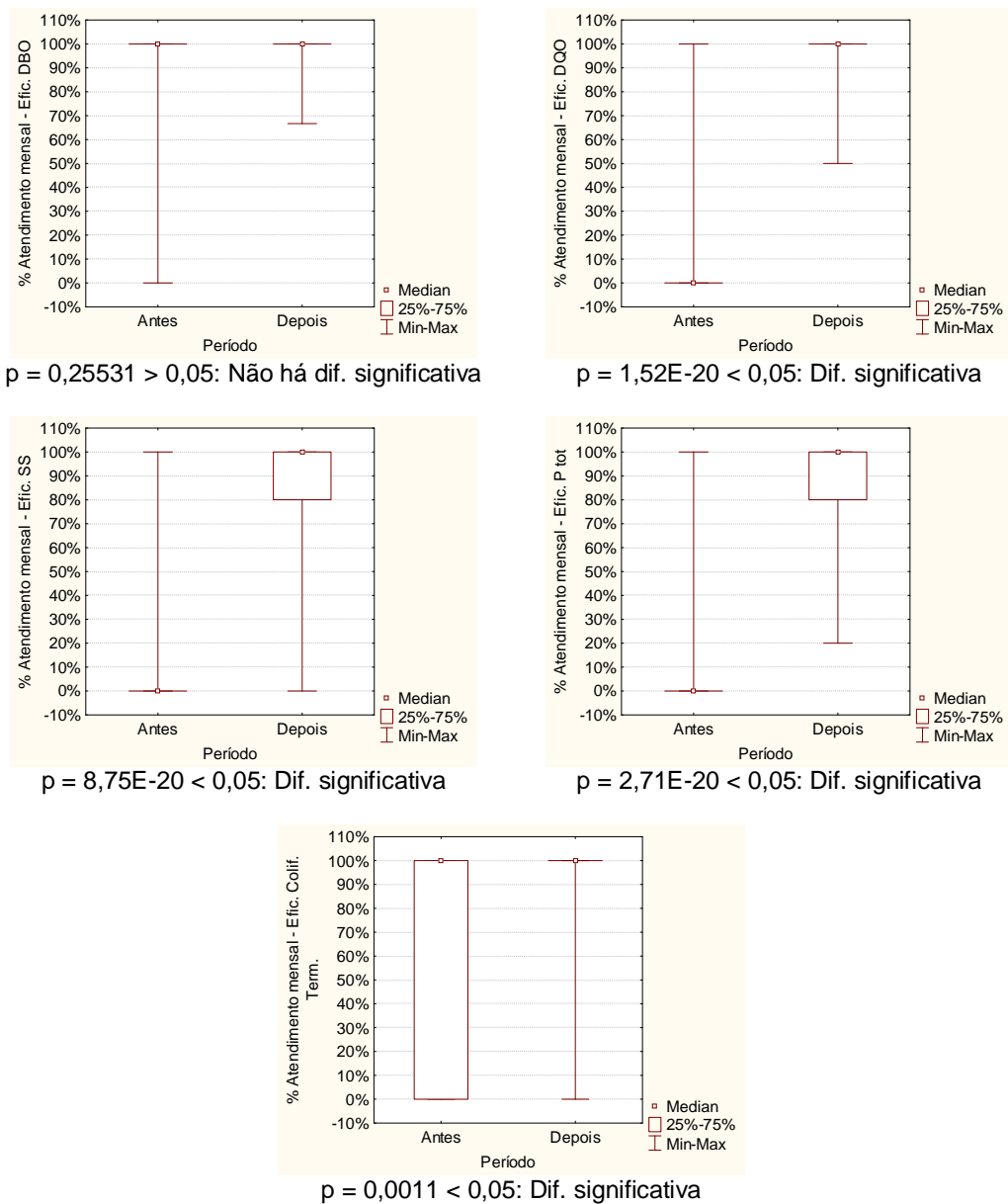


Figura 5.57 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da melhoria do processo da ETE Samambaia no atendimento às metas de eficiência de remoção.

5.1.2.7 Avaliação de produção de lodo

Não foram disponibilizadas informações referentes à produção de lodo da ETE Samambaia. De fato, nas etapas de reatores anaeróbios, lagoa facultativa, lagoa de alta taxa e lagoa de maturação não há remoção de lodo, uma vez que ele fica acumulado nas próprias unidades. Conforme comentado, detectou-se, durante a visita, lodo aflorando à superfície no espaço entre os reatores anaeróbios e a lagoa facultativa. O polimento final gera o sobrenadante,

constituído principalmente de algas, que é retirado das unidades de flotação e é direcionado para a lagoa de lodo da ETE Melchior.

5.1.2.8 Avaliação do consumo energético e de produtos químicos

Conforme informações disponibilizadas pela Caesb, os produtos químicos utilizados na ETE Samambaia são: sulfato de alumínio, polieletrólito catiônico e cloreto férrico.

A Tabela 5.15 apresenta uma estatística descritiva do consumo de energia e de produtos químicos na ETE Samambaia. Da Figura 5.58 a Figura 5.61 são apresentadas as séries temporais de todo o período analisado e o gráfico *box-whisker* dos consumos de energia e de cada produto químico consumido.

Observa-se que, com a entrada do funcionamento do polimento por flotação no final de 2006, iniciou-se o consumo de produtos químicos associados a esta etapa.

Tabela 5.15 – Estatísticas descritivas referentes ao consumo de energia e produtos químicos na ETE Samambaia.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coef. Var	Desv. padrão
Potência Consumida (kWh/mês)	122	27.303	30.240	2.400	56.640	0,45	12.154
Sulfato de Alumínio (L/mês)	34	155.351	183.308	1.800	254.800	0,47	72.805
Polieletrólito catiônico (kg/mês)	56	424	410	143	880	0,42	178
Cloreto férrico (kg/mês)	35	159.106	156.000	67.982	256.578	0,28	44.667

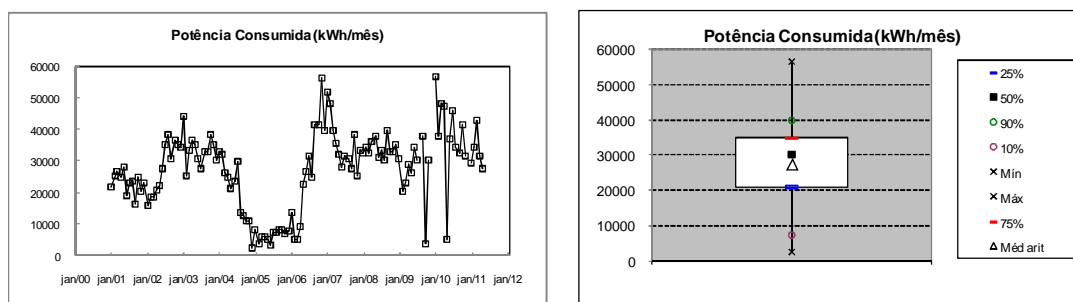


Figura 5.58 – Série temporal e *box-whisker* da potência consumida na ETE Samambaia

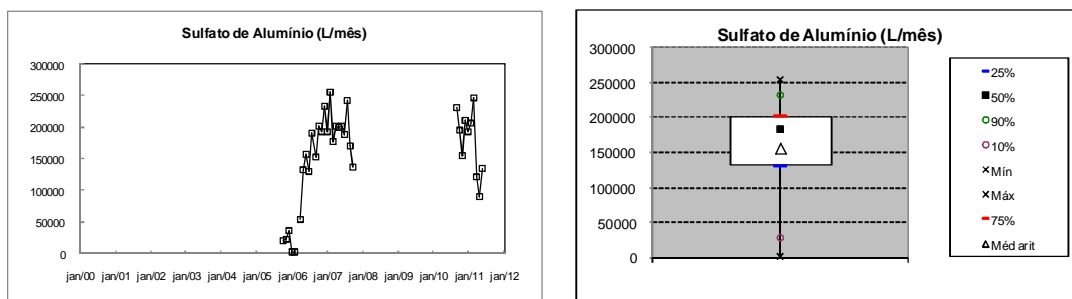


Figura 5.59 – Série temporal e *box-whisker* do consumo de sulfato de alumínio na ETE Samambaia.

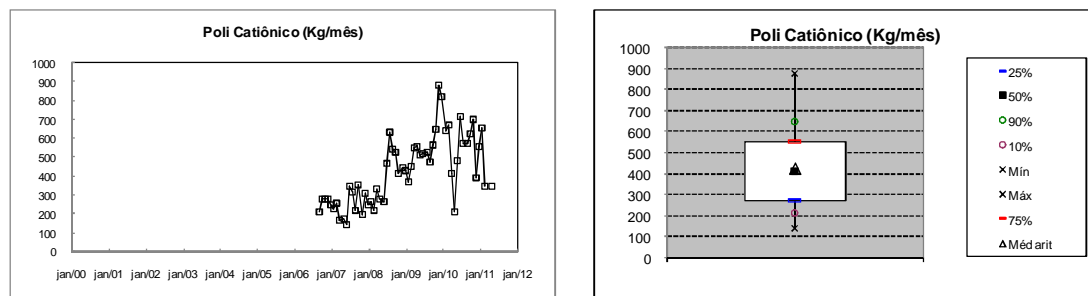


Figura 5.60 – Série temporal e *box-whisker* do consumo de polieletrólito catiônico na ETE Samambaia.

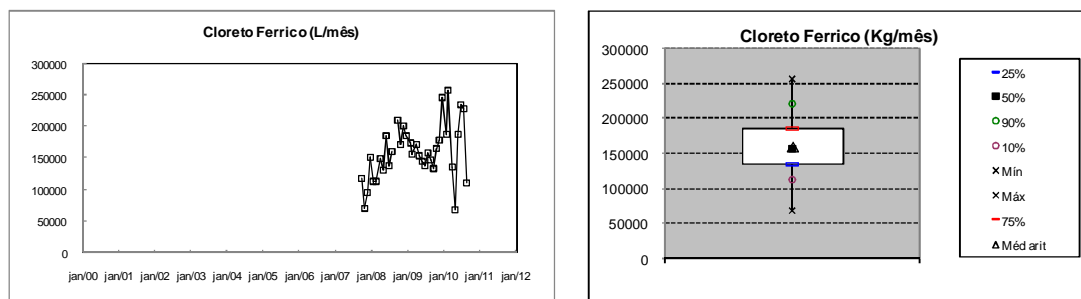


Figura 5.61 – Série temporal e *box-whisker* do consumo de cloreto férrico na ETE Samambaia.

5.1.2.9 Avaliação dos custos

A Tabela 5.16 apresenta uma estatística descritiva dos custos da ETE Samambaia. Da Figura 5.62 a Figura 5.65 são apresentadas as séries temporais de todo o período analisado e o gráfico *box-whisker* dos custos com pessoal, energia elétrica, produtos químicos e custo total.

Dentre os custos discriminados, o de média mais elevada é o custo pessoal. Não foi possível observar uma tendência dos custos ao longo do tempo.

Tabela 5.16 – Estatísticas descritivas referentes aos custos da ETE Samambaia.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coef. Var.	Desv. Padrão
Pessoal (R\$/mês)	72	102.664,31	95.432,90	38.112,91	187.795,70	0,46	47.048,22
Energia Elétrica (R\$/mês)	70	8.949,13	9.581,27	1.643,26	17.645,85	0,36	3.224,50
Produtos Químicos (R\$/mês)	69	67.699,83	62.508,43	118,62	191.898,52	0,71	47.839,33
Custo Total da Unidade (R\$/mês)	70	296.970,49	303.514,09	161.793,35	454.329,23	0,25	74.009,29

Obs: Os custos não discriminados correspondem aos custos com laboratório, limpeza, conservação, vigilância, material expediente, manutenção, serviços, e locação de transporte.

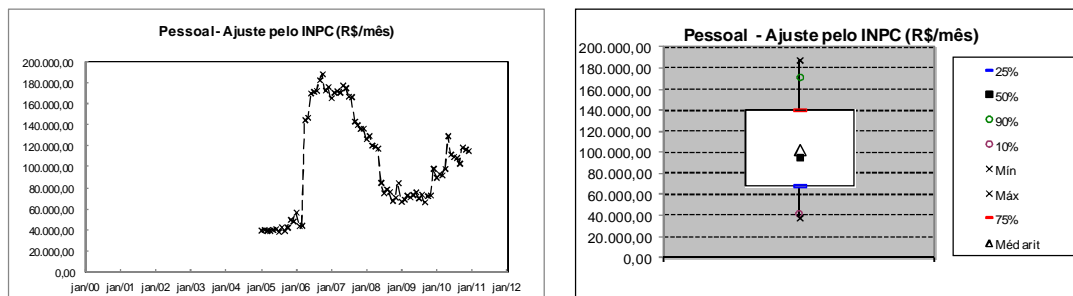


Figura 5.62 – Série temporal e *box-whisker* do custo com pessoal na ETE Samambaia.

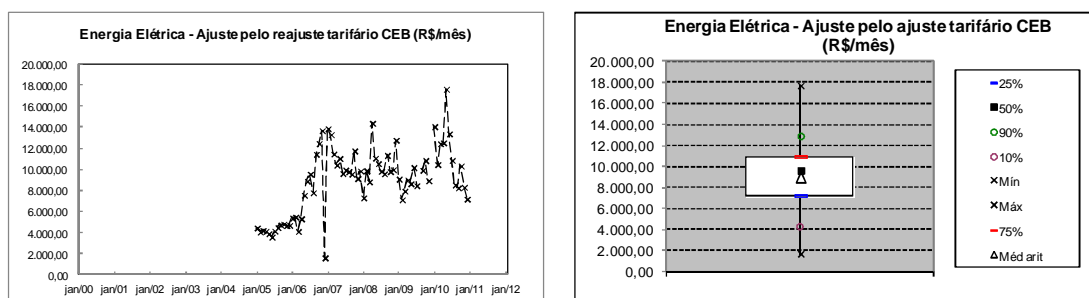


Figura 5.63 – Série temporal e *box-whisker* do custo com energia elétrica na ETE Samambaia.

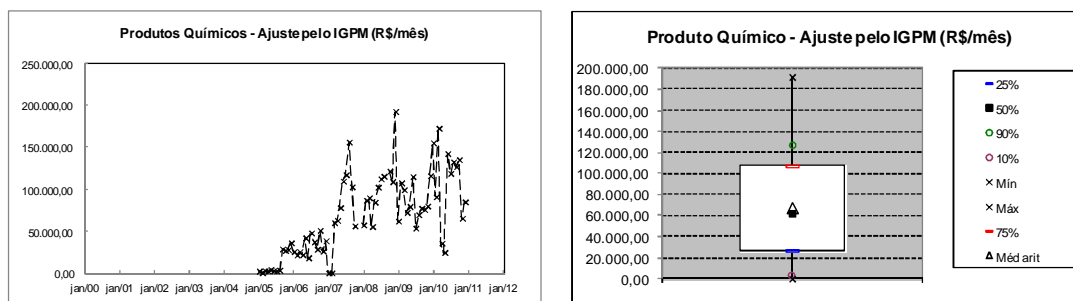


Figura 5.64 – Série temporal e *box-whisker* do custo com produto químico na ETE Samambaia.

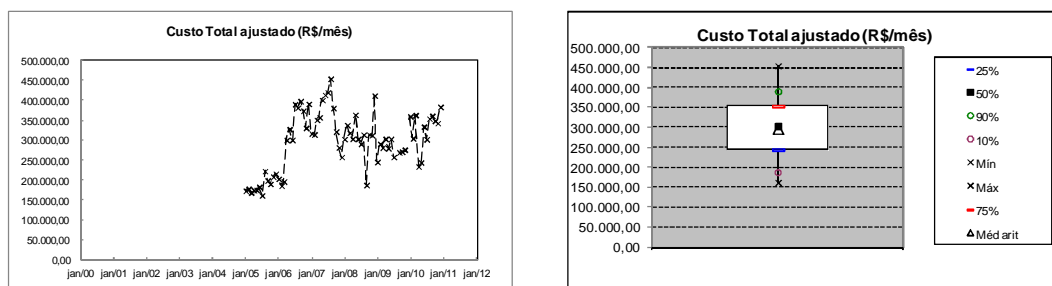


Figura 5.65 – Série temporal e *box-whisker* do custo total na ETE Samambaia.

5.1.3 ETE São Sebastião

5.1.3.1 Caracterização e visita técnica

A Estação de Tratamento de Esgotos São Sebastião, em operação desde 1998, foi projetada com capacidade média de 226 L/s, para atender uma população de cerca de 77.717 habitantes. O sistema de tratamento da ETE São Sebastião é constituído por quatro reatores UASB (reatores anaeróbios de fluxo ascendente) em paralelo, rampas de escoamento superficial e duas lagoas de maturação em série. Após o tratamento, o efluente é lançado no ribeirão Santo Antônio da Papuda. Segundo informações obtidas na visita técnica, parte considerável do afluente à estação, cerca de 40%, é proveniente do presídio da Papuda.

Conforme Caesb (2011), os esgotos sanitários da localidade são coletados e encaminhados, por gravidade, ao tratamento preliminar que é constituído por sistema de gradeamento e desarenação, para retirada de detritos grosseiros e areia.

Após esta etapa, o esgoto é recalcado para os reatores UASB que têm o formato tronco-trapezoidal tradicional de outros projetos da Caesb. Durante a visita técnica foi relatada alguma dificuldade na remoção da espuma interna aos separadores trifásicos. O gás gerado nos reatores UASB é coletado, mas não está sendo queimado, apesar de haver queimador implantado. O lodo descartado dos reatores UASB segue para as lagoas de lodo, situadas na própria área da ETE. Há três lagoas de lodo, sendo que uma vez por ano, no período seco, ocorre a remoção do lodo de uma das lagoas.

O efluente dos reatores UASB é disposto alternadamente em duas rampas de escoamento superficial em solos plantados com gramíneas. Estas rampas são divididas em duas grandes áreas, sendo que cada área recebe alimentação por um período de 25 dias, enquanto a outra descansa. Posteriormente, a operação é invertida, e a unidade em descanso passa a receber alimentação, enquanto a outra descansa. No período de descanso ocorre a poda da vegetação,

sendo que a vegetação roçada não é retirada do local, permanecendo nas próprias rampas, o que pode repercutir em reintrodução de parte dos poluentes removidos.

O efluente das rampas vai por gravidade para duas lagoas de maturação em série, onde o processo de tratamento é complementado com a redução de coliformes fecais. A primeira lagoa tem 2,1 ha de área superficial, enquanto a segunda tem 2,9 ha. Ambas lagoas têm profundidade de 2,0 m.

Por incorporar processos naturais de tratamento de esgotos, a ETE São Sebastião ocupa uma área considerável, sendo que as rampas de escoamento superficial ocupam um total de 10 hectares e as lagoas de maturação ocupam um total de 5 hectares.

Devido a perdas de água no sistema de tratamento por meio de evapotranspiração, tanto no escoamento superficial quanto nas lagoas, a Caesb estima que a vazão efluente do sistema seja em torno de 76% da vazão afluyente no período chuvoso e de apenas 63% da vazão afluyente no período seco. Esta perda de água tem implicações na avaliação do desempenho do sistema, principalmente ao se avaliarem eficiências de remoção. A perda de água torna o efluente mais concentrado. No entanto, no presente estudo esta análise não foi feita, pelo fato de não se dispor dos registros das vazões efluentes.

Atualmente a ETE São Sebastião se prepara para receber os novos condomínios nos arredores de São Sebastião (CAESB, 2011). A Figura 5.66 apresenta o fluxograma da ETE São Sebastião e a Figura 5.67 mostra algumas das estruturas da ETE durante a visita em 02 de março de 2011.

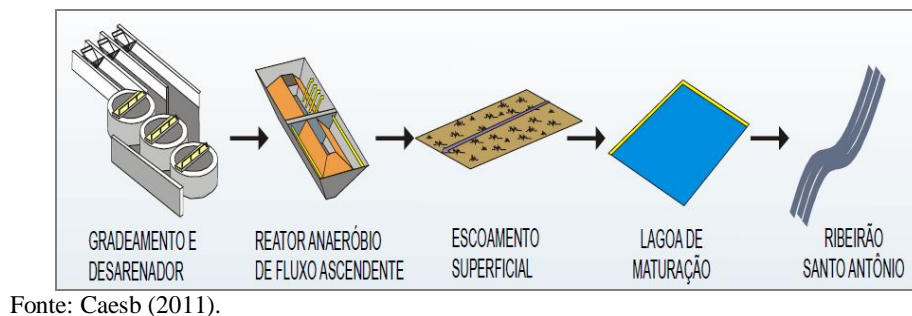


Figura 5.66 – Fluxograma da ETE São Sebastião.



Figura 5.67 – Estruturas da ETE São Sebastião – Visita técnica.

5.1.3.2 Análise dos dados de concentrações e eficiência de remoção

Concentrações do Afluente e do Efluente

A Tabela 5.17 apresenta os resultados de uma avaliação estatística descritiva das características do afluente e do efluente da ETE São Sebastião, cobrindo o período de 2000 a 2011. As estatísticas descritivas e as dispersões encontram-se, na forma de gráficos *box-whisker*, na Figura 5.68. Para complementação da análise, nos referidos gráficos, são apresentadas também as metas de concentração do efluente que são definidas e avaliadas no item 5.1.3.3. A Figura 5.69 apresenta as séries temporais da vazão e das concentrações afluentes e efluentes. O estudo da influência da sazonalidade ocorreu a partir dos dados apresentados na Figura 5.70, em que se encontra uma comparação entre as médias das concentrações obtidas para o período seco, período chuvoso e todo o período monitorado, e na Figura 5.71, que mostra os resultados obtidos pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$).

Observa-se o elevado número de dados de cada parâmetro, o que aumenta bastante a confiabilidade das análises a serem efetuadas. A exceção ocorre para N amoniacal afluente e coliformes termotolerantes, sendo que o primeiro não é monitorado nesta ETE e é mais bem representado pelo NTK afluente, enquanto o segundo é monitorado com frequência bem menor que a dos outros parâmetros.

No conjunto de dados dos parâmetros vazão e NTK, no afluente da ETE São Sebastião, foram observados os valores de 87.125m³/dia em 31/05/2011 e 742 mg/L em 14/10/2001, respectivamente. São valores pouco confiáveis, uma vez que se encontram fora de faixas razoáveis e, dessa forma, foram desconsiderados no presente estudo.

Observa-se o substancial decréscimo das concentrações efluentes, comparadas com as afluentes, para todos os parâmetros analisados. Pelo teste de hipótese aplicado, observa-se haver diferença significativa nos níveis de vazão, sendo esta inferior no período seco, e nas concentrações de efluentes de DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes, sendo o primeiro superior no período seco e os outros dois inferiores no mesmo período.

Tabela 5.17 – Estatísticas descritivas referentes às concentrações de constituintes do afluente e do efluente da ETE São Sebastião.

Estatística	Vazão (m ³ /d)	DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)	
		Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
<i>Nº dados</i>	4252	483	464	518	513	517	513
Média	6615	479	45	729	106	340	50
Mediana	6695	450	40	677	101	312	46
Mínimo	2803	40	4	7	32	82	9
Máximo	16625	1700	205	3088	334	2300	250
DP ¹	0,36	0,40	0,63	0,38	0,32	0,51	0,48
CV ²	2349	193	28	280	34	173	24

Estatística	NTK (mg/l)		N-Amon (mg/l)		P tot (mg/l)		Colif. Term. (NMP/100mL)	
	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
<i>Nº dados</i>	506	497	0	477	513	504	113	107
Média	63	19	-	11	8,4	4,9	6,02E+07	2,79E+04
Mediana	60	17	-	8	7,9	4,6	3,00E+07	3,40E+03
Mínimo	9	1	-	0	3,2	1,4	5,00E+04	4,00E+01
Máximo	279	74	-	44	79,5	51,0	1,60E+09	5,40E+05
DP ¹	0,33	0,53	-	0,89	0,51	0,54	2,57	2,44
CV ²	21	10	-	10	4,3	2,7	1,54E+08	6,83E+04

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

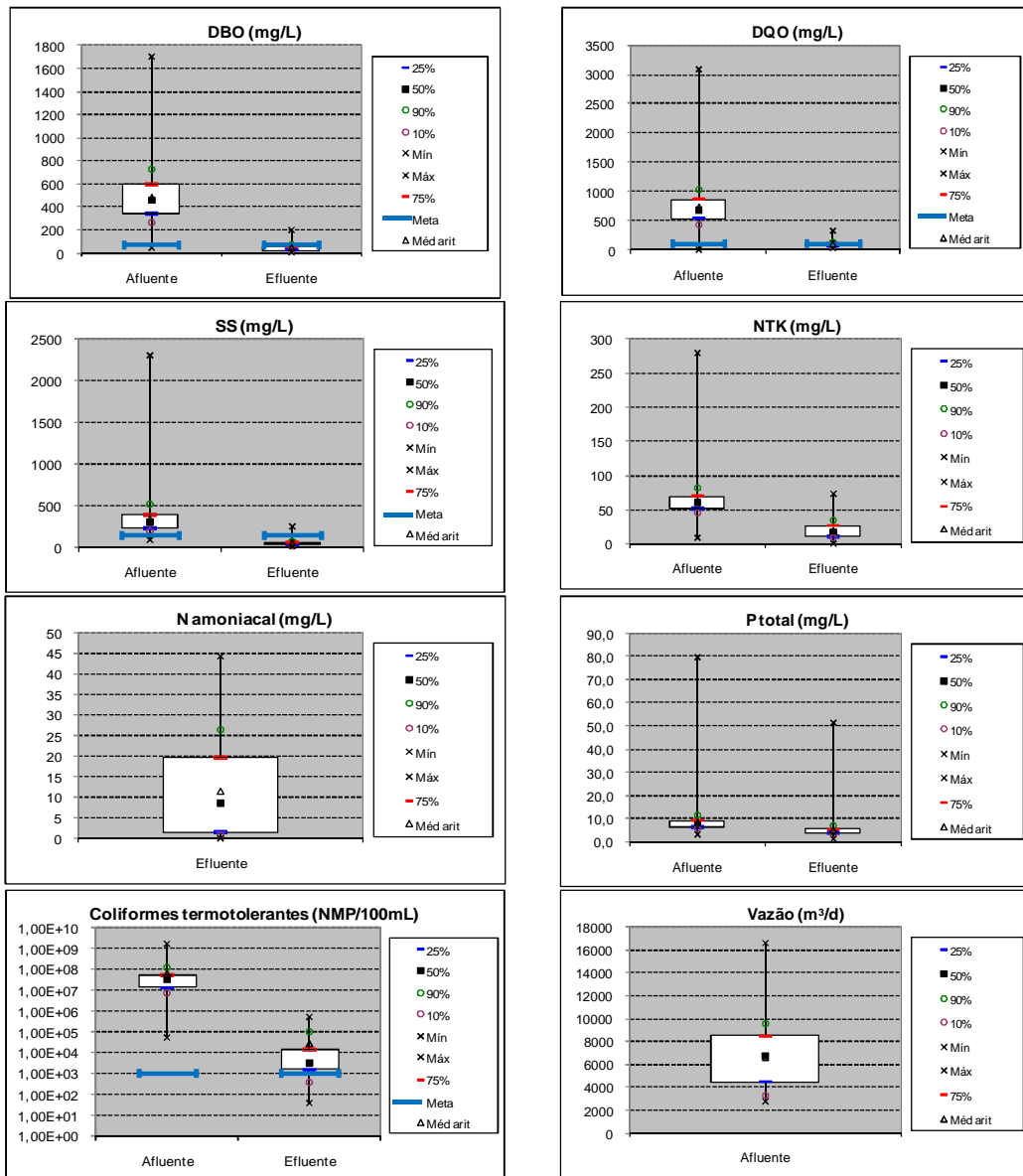


Figura 5.68 – Concentrações mínima, máxima, média aritmética e percentis do afluente e efluente da ETE São Sebastião comparadas às metas de concentração efluente.

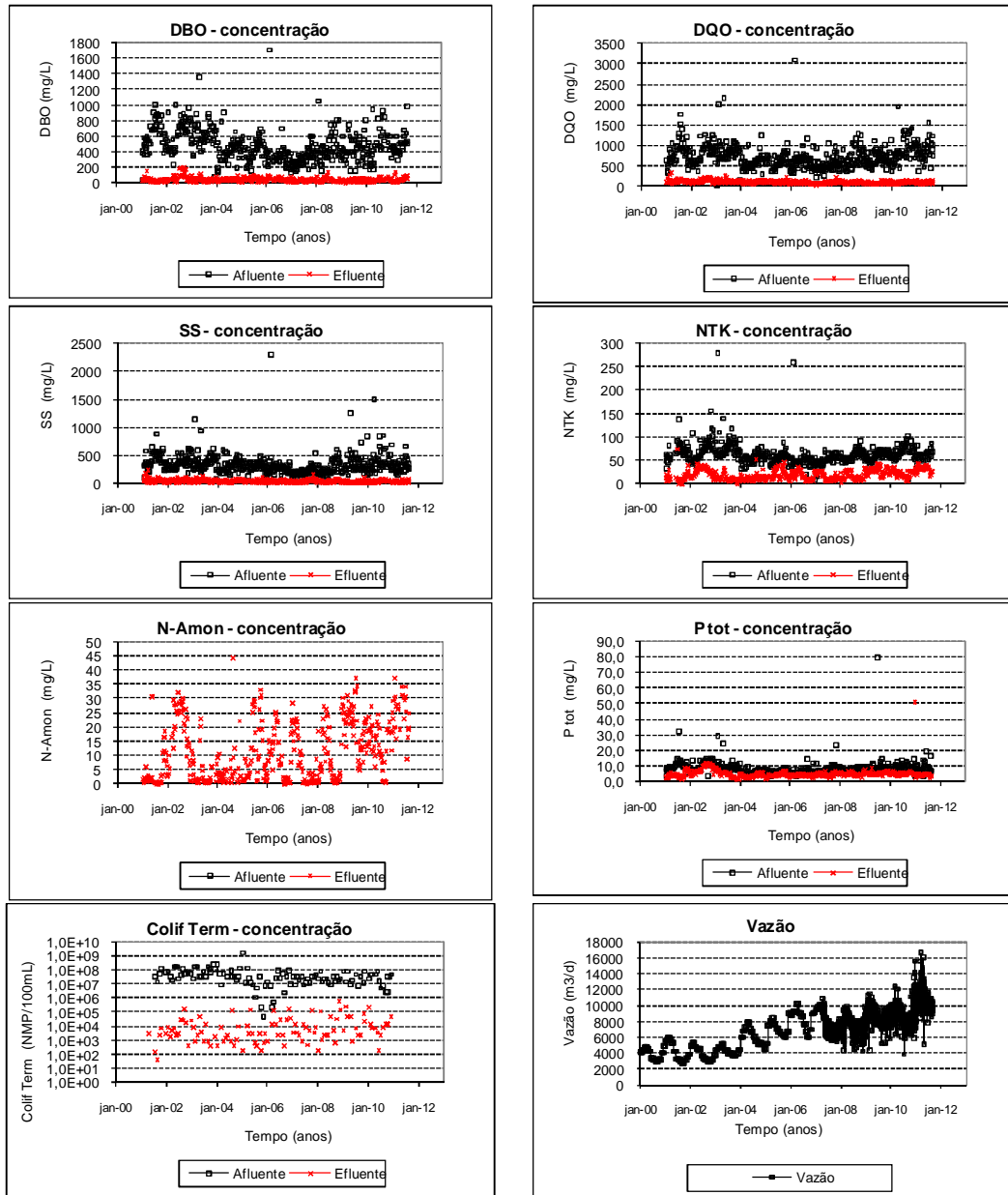


Figura 5.69 – Séries temporais das características do afluente e efluente da ETE São Sebastião.

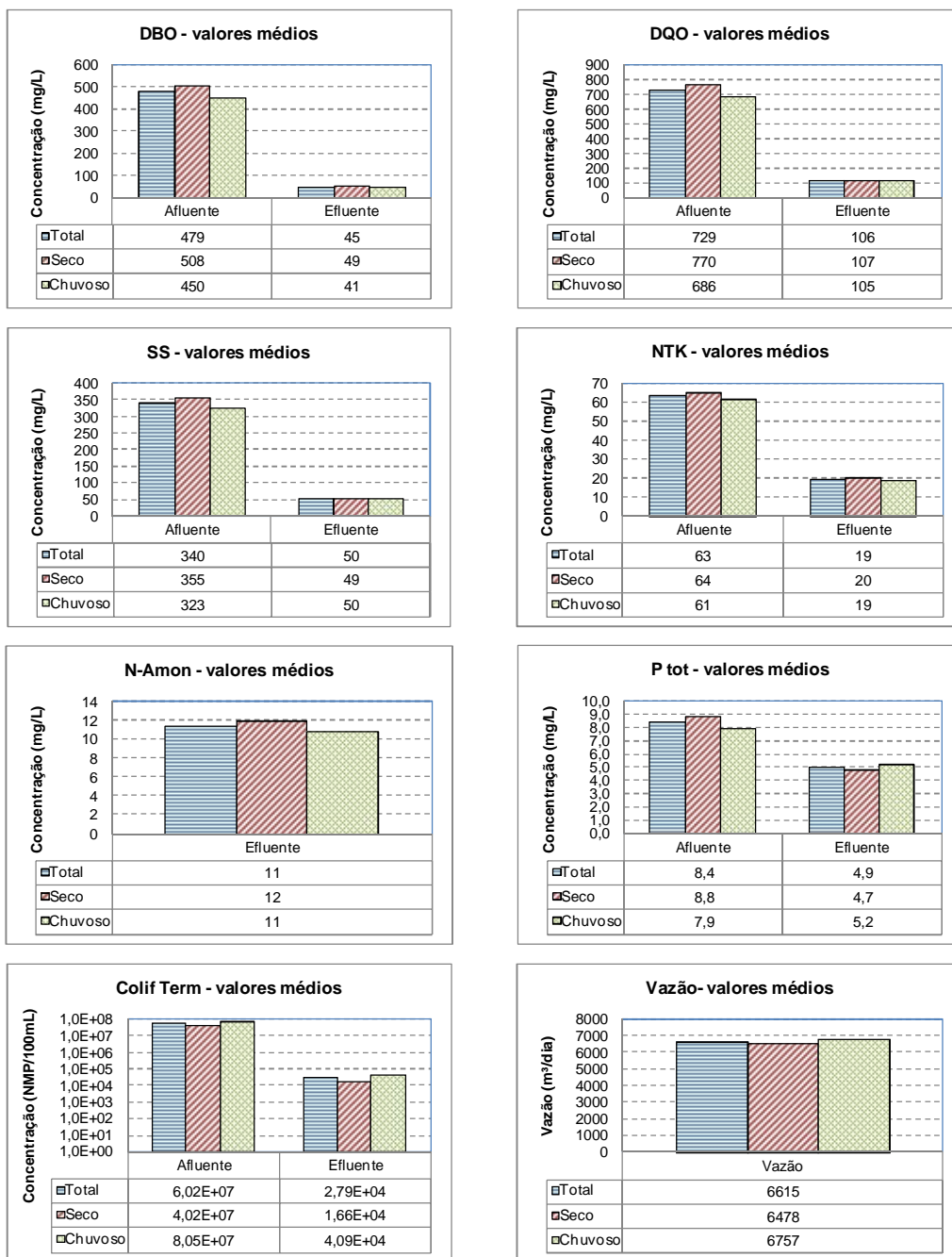
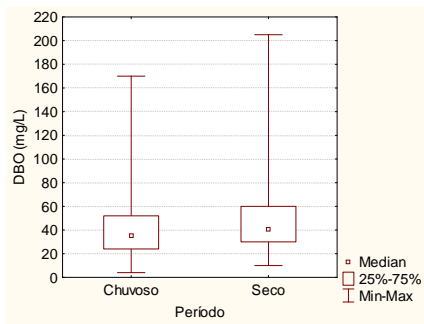
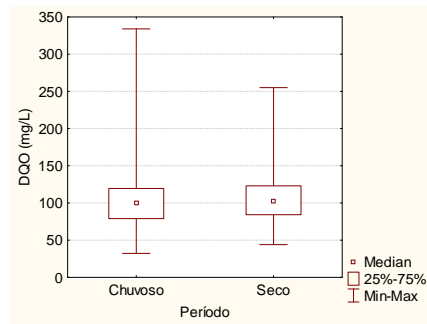


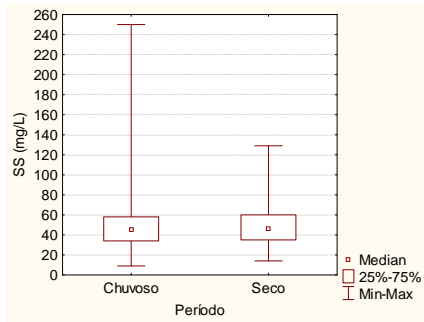
Figura 5.70 – Concentrações médias das características do afluente e efluente da ETE São Sebastião em função da sazonalidade.



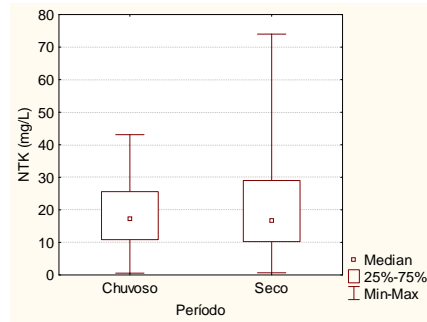
$p = 0,0022 < 0,05$: Dif. significativa



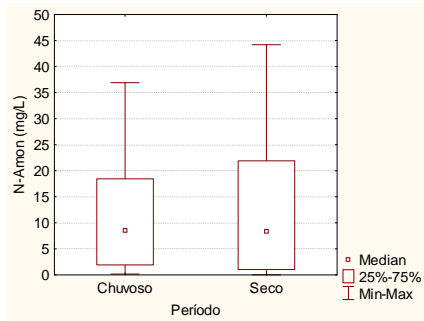
$p = 0,1867 > 0,05$: Não há dif. significativa



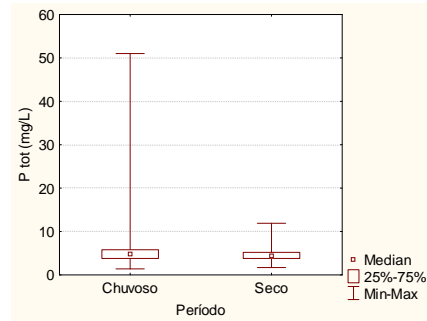
$p = 0,7376 > 0,05$: Não há dif. significativa



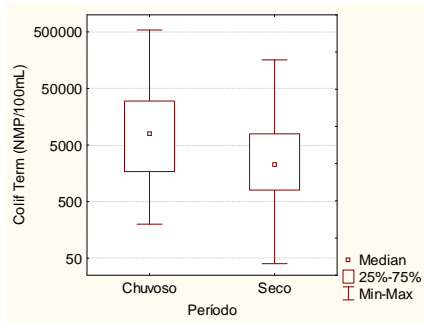
$p = 0,4710 > 0,05$: Não há dif. significativa



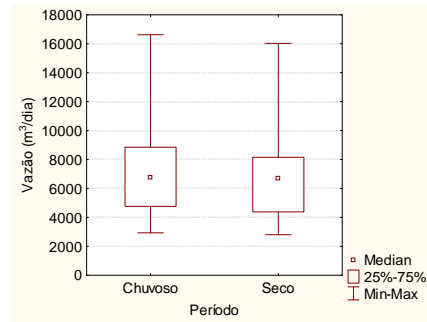
$p = 0,9211 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,0136 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,02773 < 0,05$: Dif. significativa



$p = 0,00003 < 0,05$: Dif. significativa

Figura 5.71 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas características do efluente e vazão da ETE São Sebastião.

Eficiências de Remoção

A Tabela 5.18 apresenta os resultados de uma avaliação estatística descritiva das eficiências de remoção da ETE São Sebastião, cobrindo o período de 2000 a 2011. A Figura 5.72 apresenta, na forma de gráfico *box-whisker*, a estatística descritiva e a dispersão das eficiências do sistema na remoção de cada parâmetro analisado. Para complementação da análise, no referido gráfico, são apresentadas também as metas de eficiência de remoção que são definidas e avaliadas no item 5.1.3.3. Em seguida, a Figura 5.73 apresenta as séries temporais das eficiências de remoção da ETE São Sebastião para DBO, DQO, sólidos suspensos, NTK, fósforo total e coliformes termotolerantes. Com relação à influência da sazonalidade, na Figura 5.74 são apresentadas as eficiências médias da ETE São Sebastião no período seco, período chuvoso e no período total considerado, enquanto na Figura 5.75 encontram-se os resultados obtidos ao se compararem os dados do período seco com os dados do período chuvoso pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$).

Devido à reduzida quantidade de resultados da concentração de N amoniacal no afluente, não será avaliada a eficiência de remoção deste parâmetro pela ETE em questão. Com relação às eficiências de remoção dos coliformes termotolerantes, optou-se por apresentá-las em unidades log removidas para melhor visualização dos resultados.

Observa-se que a maior parte dos percentuais de eficiências de remoção de DBO, DQO e sólidos suspensos são superiores a 60%, já para os outros parâmetros nota-se maior variação nas eficiências de remoção. Para o parâmetro coliformes termotolerantes também se verifica que a maior parte das eficiências são elevadas.

Vale lembrar que a última unidade do sistema de tratamento é representada por uma lagoa de maturação. Esta lagoa, em condições normais de funcionamento, produz grande quantidade de algas, que, ao sair com o efluente, podem deteriorar sua qualidade em termos de matéria orgânica e sólidos em suspensão. Além disso, para os nutrientes nitrogênio e fósforo, não há etapas no processo incluídas especificamente para sua remoção.

Pelo teste de hipótese aplicado, há diferença significativa nas eficiências de remoção de DQO, sólidos suspensos e fósforo total em função da sazonalidade, sendo, para a eficiência média levemente superior no período seco.

Tabela 5.18 – Estatísticas descritivas referentes às eficiências de remoção da ETE São Sebastião.

Estatística	DBO (%)	DQO (%)	SS (%)	NTK (%)	P tot (%)	Colif. Term.	
						(%)	(unid.log) ⁽¹⁾
<i>Nº dados</i>	455	509	507	495	502	105	105
Média	89,2	80,7	83,1	66,8	36,5	99,53	2,33
Mediana	90,9	84,9	84,9	72,1	37,1	99,99	3,85
Mínimo	0,0	-1585,7	-31,0	-154,2	-571,1	74,00	0,59
Máximo	98,8	97,3	98,1	99,5	93,8	100,00	6,90
Coef. Var	0,09	0,92	0,12	0,32	0,92	0,03	0,0050
Desv. padrão	8,3	74,3	10,3	21,7	33,7	2,62	0,01155

⁽¹⁾ Unidades log removidas = $-\log(1 - \text{Efic}/100)$.

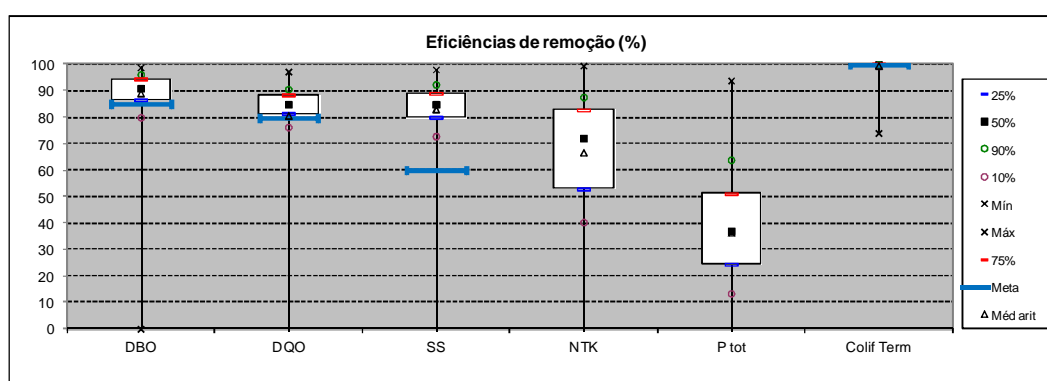


Figura 5.72 – Eficiências mínima, máxima e percentis de percentual de remoção de cada parâmetro da ETE São Sebastião comparadas às metas de eficiência.

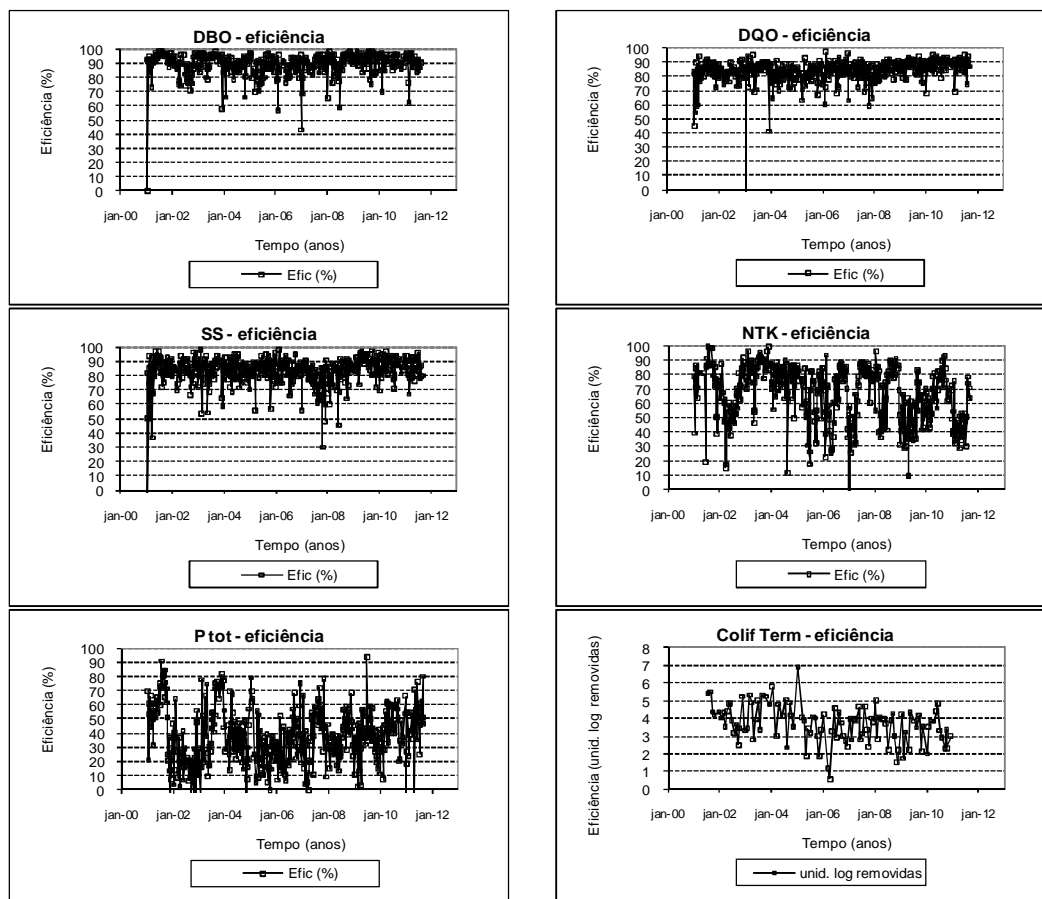


Figura 5.73 – Séries temporais das eficiências de remoção da ETE São Sebastião.

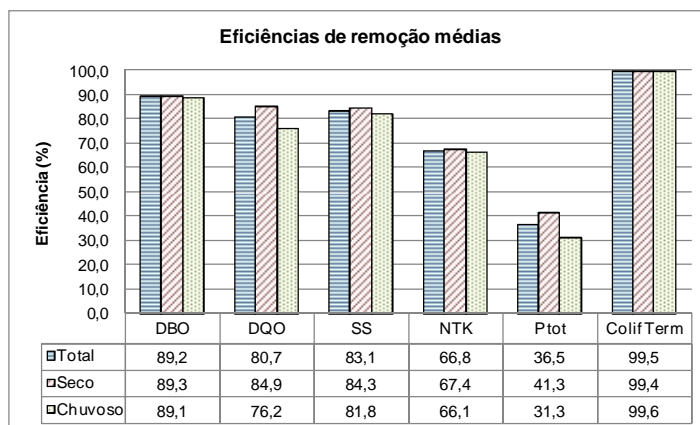


Figura 5.74 – Eficiências médias da ETE São Sebastião em função da sazonalidade.

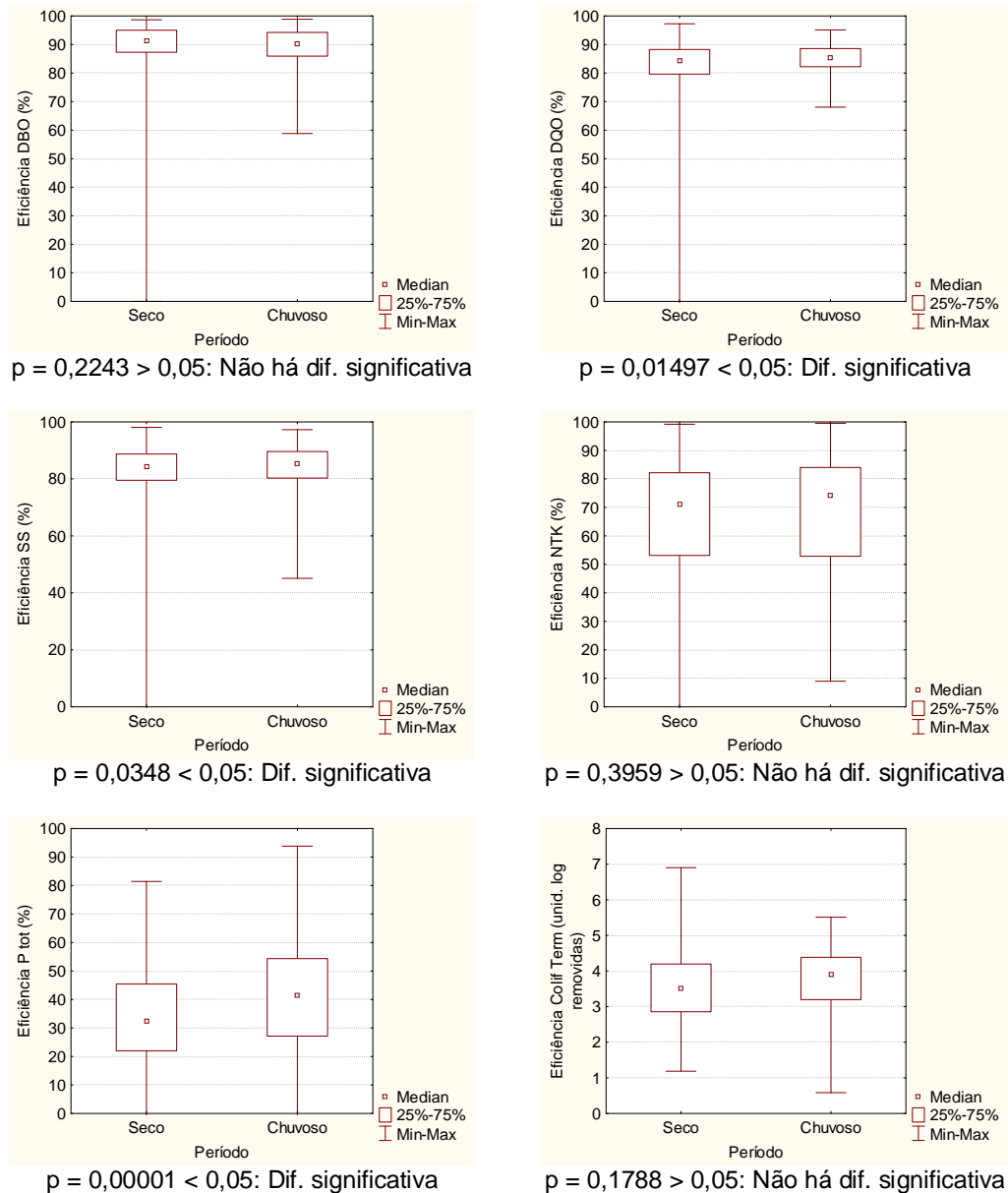


Figura 5.75 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade nas eficiências de remoção da ETE São Sebastião.

5.1.3.3 Determinação das metas de qualidade e avaliação do atendimento

Na Tabela 5.19 encontram-se discriminadas as metas de qualidade das concentrações efluentes e eficiências de remoção consideradas no presente estudo para a ETE São Sebastião. A determinação das mesmas ocorreu conforme mencionado no item 5.1.1.3 do presente estudo. Vale ressaltar que as metas de eficiência de remoção de DBO e SS correspondem ao padrão D do Prodes, uma vez que este é o padrão utilizado pela Caesb para a ETE São Sebastião.

Tabela 5.19 – Metas adotadas para avaliação de desempenho da ETE São Sebastião.

Meta	DBO	DQO	SS	NTK	N-Amon	P tot	Colif Term
Concentr. Efluente	75mg/L	125mg/L	150mg/L	-	-	-	10 ³ NMP/100mL
Eficiência Remoção	85%	85%	60%	-	-	-	99,99%

Concentrações do Efluente

As porcentagens de atendimento às metas determinadas para as concentrações no efluente da ETE São Sebastião encontram-se na Figura 5.76 . Os resultados obtidos pela comparação dos percentuais de atendimento às metas no período seco e no período chuvoso, pelo teste U de Mann-Whitney encontram-se na Figura 5.77. Em seguida, a Figura 5.78 mostra a porcentagem de atendimento anualmente.

A elevada porcentagem de atendimento à meta do parâmetro sólidos suspensos se deve, possivelmente, ao fato da meta de concentração efluente (150 mg/L), específica para sistemas que têm como última etapa lagoas de estabilização, ser pouco restritiva. O parâmetro com maior dificuldade para o atendimento à meta de qualidade foi coliformes. Pelo teste U de Mann-Whitney, observa-se não haver diferença significativa nos percentuais de atendimento às metas de concentração no efluente em função da sazonalidade.

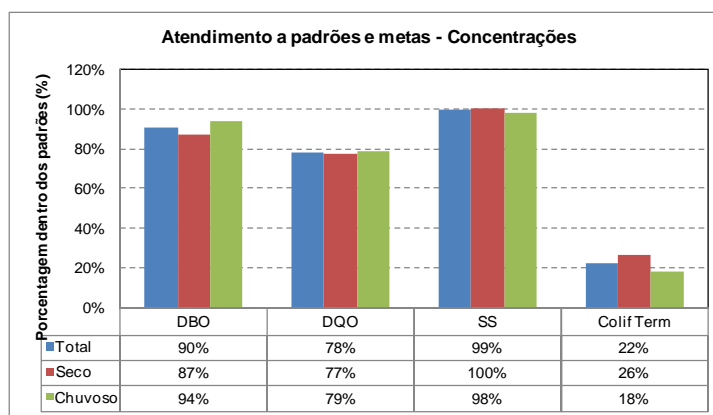
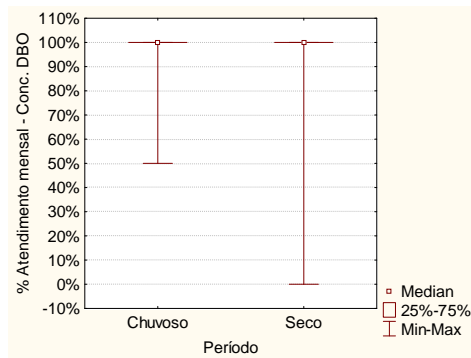
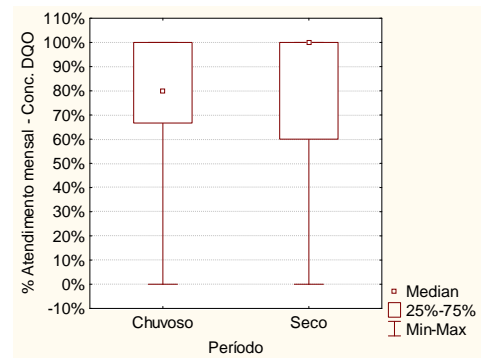


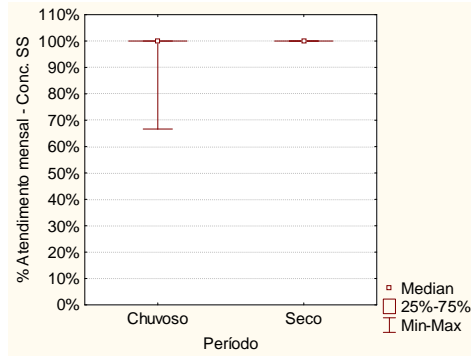
Figura 5.76 – Porcentagem de atendimento das concentrações do efluente da ETE São Sebastião às metas em função da sazonalidade.



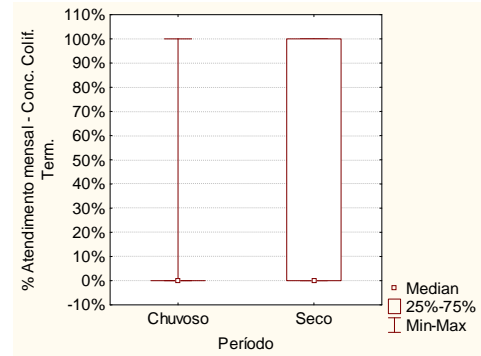
$p = 0,4518 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,7243 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,5306 > 0,05$: Não há dif. significativa



$p = 0,4582 > 0,05$: Não há dif. significativa

Figura 5.77 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de concentração pela ETE São Sebastião.

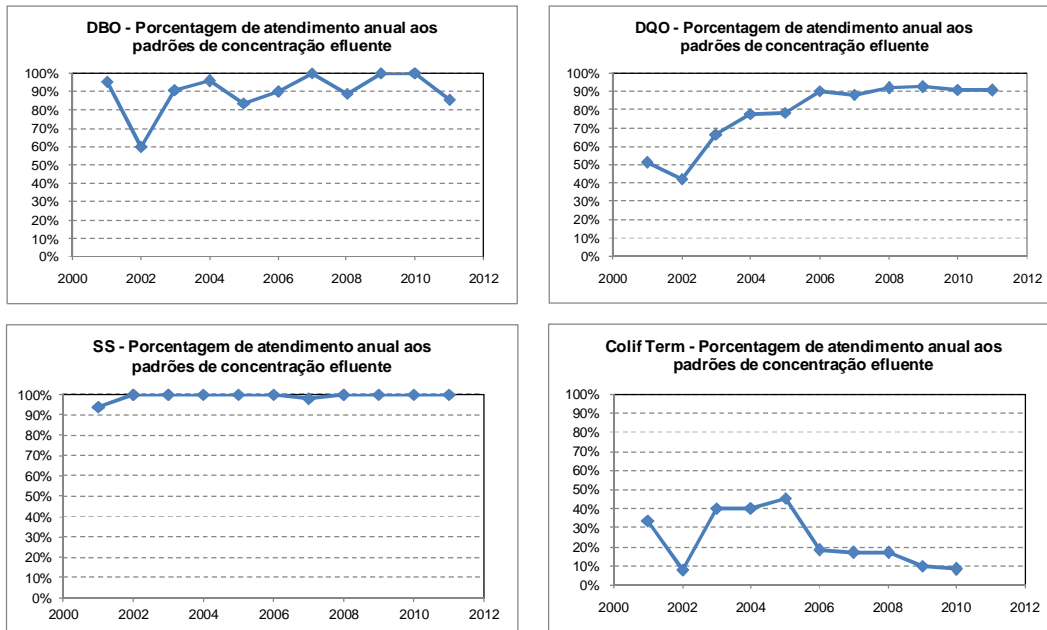


Figura 5.78 – Porcentagem de atendimento anual às metas para a concentração efluente da ETE São Sebastião.

Eficiências de remoção

As porcentagens de atendimento às metas estabelecidas para as eficiências de remoção da ETE São Sebastião encontram-se na Figura 5.79 para todo o período amostrado, para o período seco e para o período chuvoso separadamente. A Figura 5.80 mostra os resultados obtidos pelo teste U de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), ao se compararem os referidos períodos. A Figura 5.81 apresenta a porcentagem de atendimento anual às mesmas metas. Vale ressaltar que não foram adotadas metas de eficiência de remoção para os parâmetros NTK, nitrogênio amoniacal e fósforo total.

Nota-se que, até o ano de 2006, os percentuais anuais de atendimento às metas sofriam grandes variações para a maior parte dos parâmetros. A partir do ano de 2007, o atendimento às metas de eficiências de remoção passam a ser maiores, sendo estes superiores a 70% para todos os parâmetros analisados, com exceção apenas do parâmetro coliformes termotolerantes.

Apesar das eficiências de remoção de todos os parâmetros apresentarem-se levemente superiores no período seco, com exceção apenas da DBO, o teste U de Mann-Whitney indicou não haver diferença significativa nos percentuais de atendimento às metas de eficiência em função da sazonalidade.

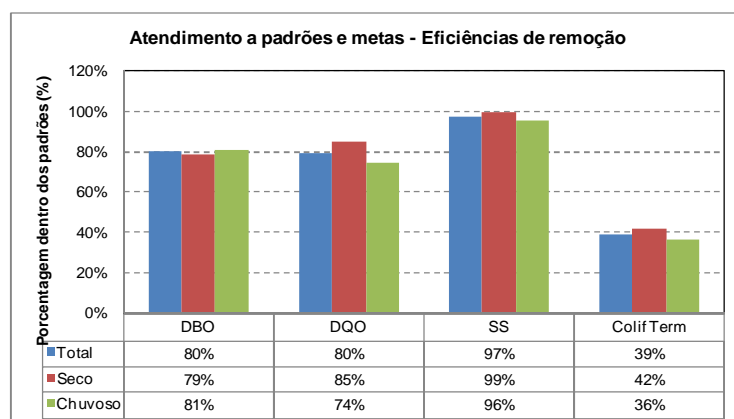


Figura 5.79 – Porcentagem de atendimento das eficiências de remoção da ETE São Sebastião às metas em função da sazonalidade.

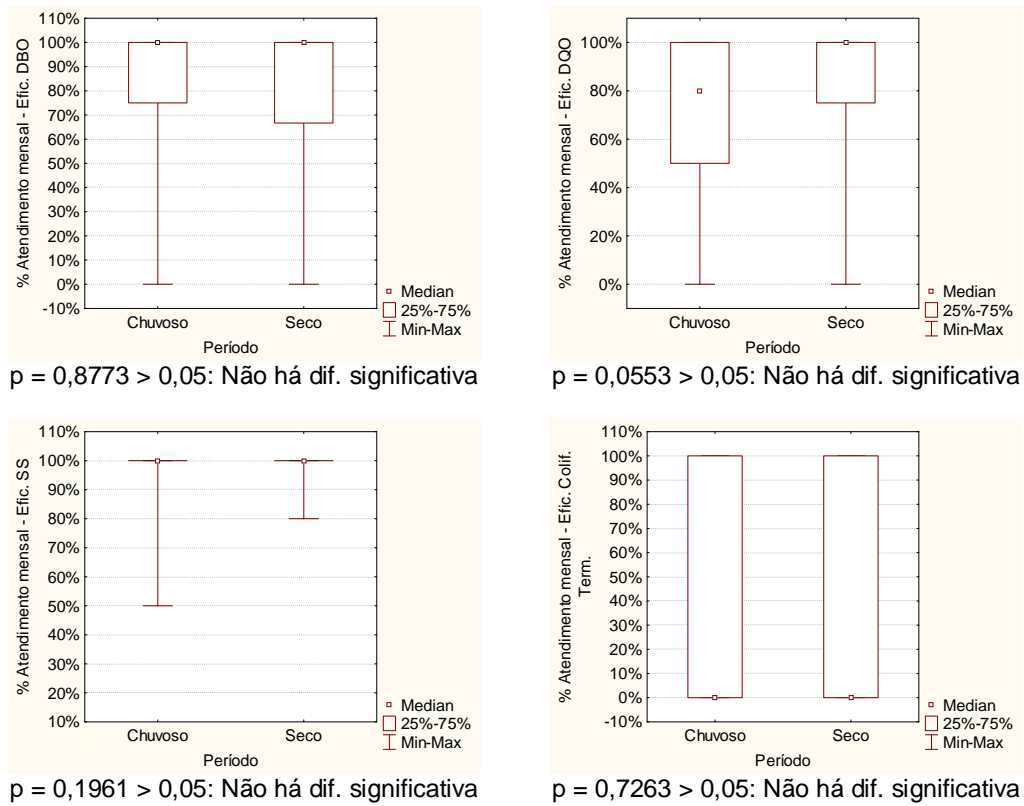


Figura 5.80 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência da sazonalidade na porcentagem mensal de atendimento às metas de eficiência pela ETE São Sebastião.

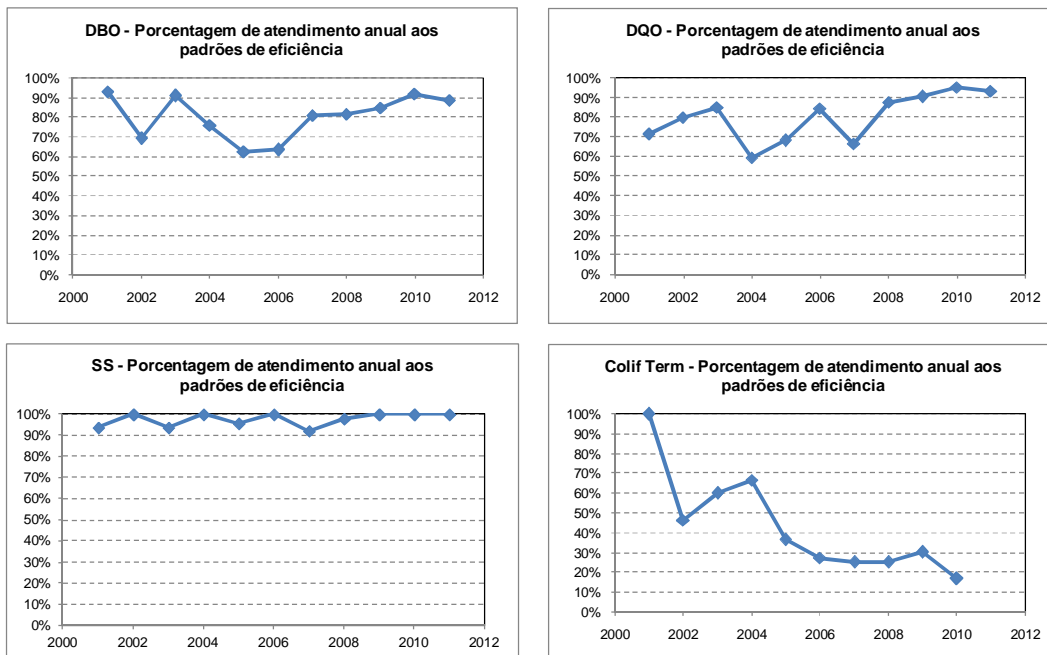


Figura 5.81 – Porcentagem de atendimento anual às metas de eficiências de remoção da ETE São Sebastião.

5.1.3.4 Análise de confiabilidade dos processos de tratamento

A Figura 5.82 e a Figura 5.83 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 5.82 são próximos, para a maior parte dos parâmetros, aos apresentados na Figura 5.76 (porcentagem de atendimento às metas de concentrações efluentes da ETE São Sebastião), indicando a aplicabilidade do conceito. Observa-se a maior dificuldade no atendimento às metas de concentração efluente de coliformes. Para NTK, N amoniacal e P total não foram estabelecidas metas de qualidade para o efluente, portanto, os valores nulos na Figura 5.82 devem ser desconsiderados.

Os valores apresentados na Figura 5.83 representam o coeficiente de confiabilidade obtido para cada um dos parâmetros de qualidade usando a Equação 4.2, apresentada no item 4.2.4. Por exemplo, caso se deseje uma confiabilidade de 90% (atendimento à meta de qualidade em 90% do tempo) para DBO, tem-se o CDC de 0,56 (ver tabela constante da figura). Desta forma, para se cumprir com a meta de 30 mg/L em 90% do tempo, a estação deveria operar de maneira tal a produzir uma média da concentração efluente igual a $0,56 \times 30 = 16,8$ mg/L.

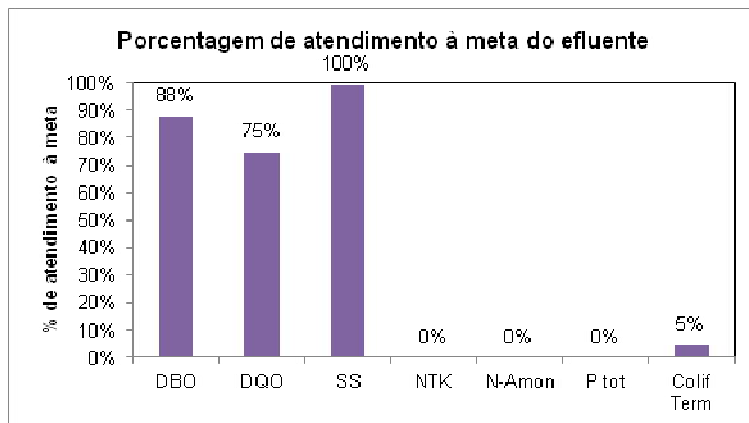


Figura 5.82 – Porcentagem de atendimento esperado à meta do efluente da ETE São Sebastião.

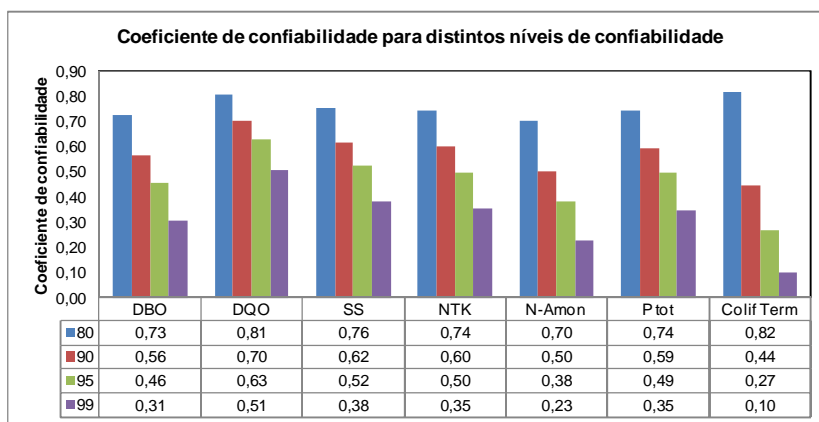


Figura 5.83 – Coeficiente de confiabilidade para distintos níveis de confiabilidade.

5.1.3.5 Verificação da utilização da capacidade instalada

A ETE São Sebastião foi projetada para uma vazão média de 226 L/s (19526 m³/d). A Figura 5.84 apresenta a relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto. Nota-se que o valor desta relação vem aumentando ao longo dos anos, alcançando 55% no ano de 2011, sendo este o valor máximo anual de utilização da capacidade instalada. Dessa forma, a estação tem trabalhado com folga, no que diz respeito às cargas hidráulicas.

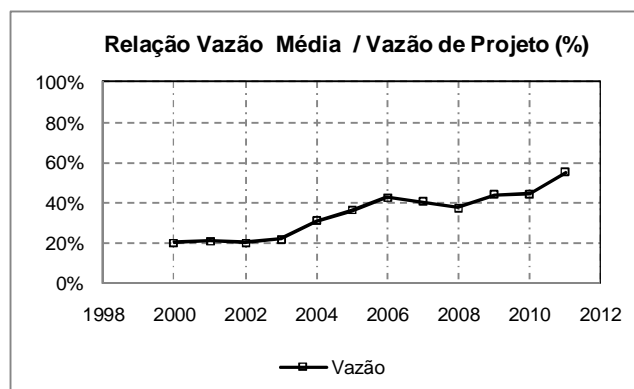


Figura 5.84 – Relação entre a vazão média anual e a vazão de projeto da ETE São Sebastião.

5.1.3.6 Avaliação do impacto da implantação de melhorias

O processo de tratamento da ETE São Sebastião não passou por melhorias representativas durante o período entre os anos de 2000 e 2011.

5.1.3.7 Avaliação de produção de lodo

A Tabela 5.20 apresenta uma estatística descritiva da produção de lodo da ETE São Sebastião. Na Figura 5.85 são apresentadas as séries temporais de todo o período analisado e o gráfico

box-whisker da produção de lodo mensal. A produção de lodo apresenta grande variação ao longo dos anos.

Tabela 5.20 – Estatística descritiva referente à produção de lodo na ETE São Sebastião.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coef. Var	Desv. Padrão
Lodo Produzido (m ³ /mês)	89	211	200	10	470	0,55	117

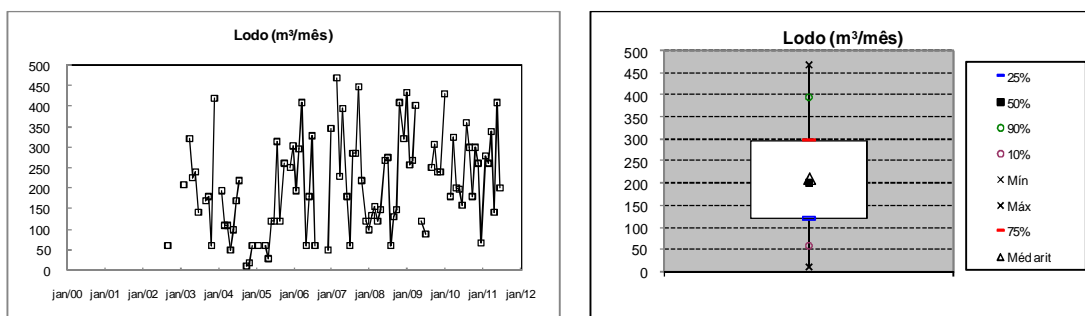


Figura 5.85 – Série temporal e *box-whisker* da produção de lodo na ETE São Sebastião.

5.1.3.8 Avaliação do consumo energético e de produtos químicos

Com relação ao uso de produtos químicos, a Caesb disponibilizou os dados referentes ao consumo de cal na ETE São Sebastião. A Tabela 5.21 apresenta uma estatística descritiva do consumo de energia e do referido produto químico. Na Figura 5.86 e na Figura 5.87 são apresentadas as séries temporais de todo o período analisado e o gráfico *box-whisker* dos consumos de energia e de cal. Nota-se, a partir do ano de 2006, uma redução representativa do consumo de energia elétrica, que pode estar associada ao principal consumo energético da ETE referente à estação elevatória localizada entre o tratamento preliminar e os reatores UASB, e um aumento do consumo de cal ao longo do tempo.

Tabela 5.21 – Estatísticas descritivas referentes ao consumo de energia e de cal na ETE São Sebastião.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coef. Var	Desv. padrão
Potência Consum. (kWh/mês)	126	15.785	6.538	547	47.040	0,79	12.417
Cal (kg/mês)	72	223	200	120	660	0,45	100

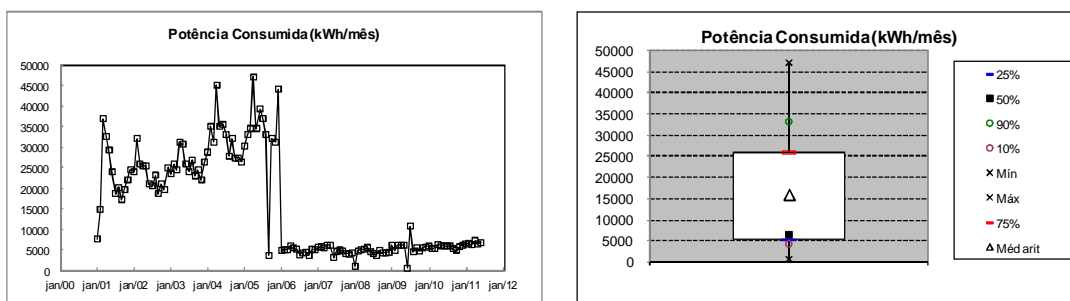


Figura 5.86 – Série temporal e *box-whisker* da potência consumida na ETE São Sebastião.

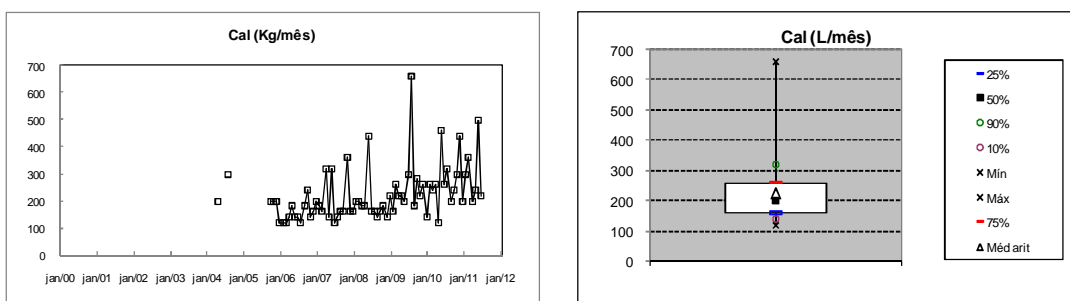


Figura 5.87 – Série temporal e *box-whisker* do consumo de cal na ETE São Sebastião.

5.1.3.9 Avaliação dos custos

A Tabela 5.22 apresenta uma estatística descritiva dos custos da ETE São Sebastião. Da Figura 5.88 a Figura 5.91 são apresentadas as séries temporais de todo o período analisado e o gráfico *box-whisker* dos custos com pessoal, energia elétrica, produtos químicos e custo total.

Dentre os custos discriminados, o de média mais elevada é o custo com pessoal. Observa-se uma tendência de aumento do custo total da unidade e do custo com pessoal ao longo do tempo. Enquanto o custo com produtos químicos e energia elétrica sofrem uma redução no ano de 2006.

Tabela 5.22 – Estatísticas descritivas referentes aos custos da ETE São Sebastião.

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coef. Var.	Desv. Padrão
Pessoal (R\$/mês)	72	41.426,13	33.295,08	20.199,57	78.459,35	0,41	16.856,43
Energia Elétrica (R\$/mês)	72	1.696,45	1.553,78	645,52	5.931,40	0,37	621,09
Produtos Químicos (R\$/mês)	72	548,95	68,57	0,00	3.653,12	1,65	904,57
Custo Total da Unidade (R\$/mês)	72	156.252,21	153.850,59	102.030,15	207.658,07	0,16	25.319,76

Obs: Os custos não discriminados correspondem aos custos com laboratório, limpeza, conservação, vigilância, material expediente, manutenção, serviços, e locação de transporte.

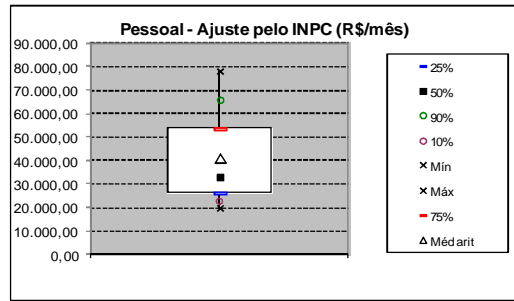
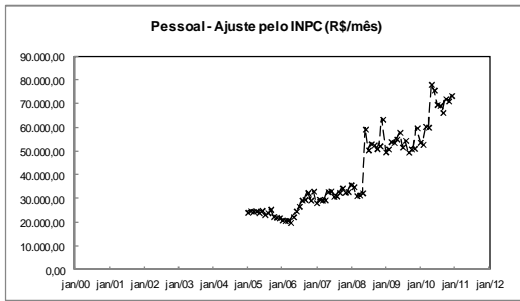


Figura 5.88 – Série temporal e *box-whisker* do custo com pessoal na ETE São Sebastião.

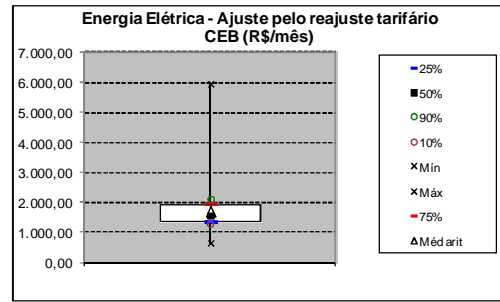
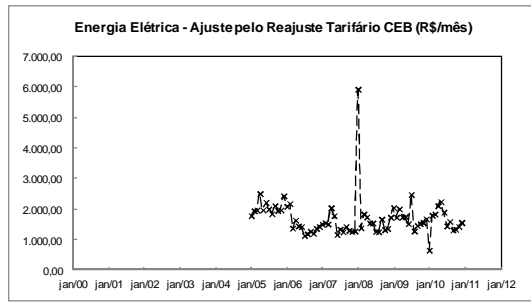


Figura 5.89 – Série temporal e *box-whisker* do custo com energia elétrica na ETE São Sebastião.

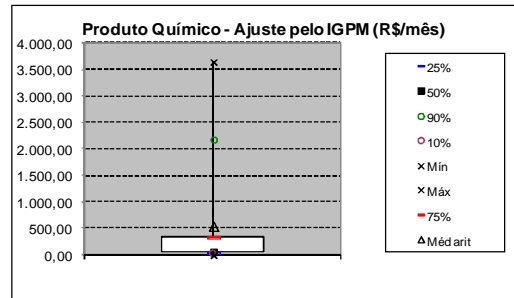
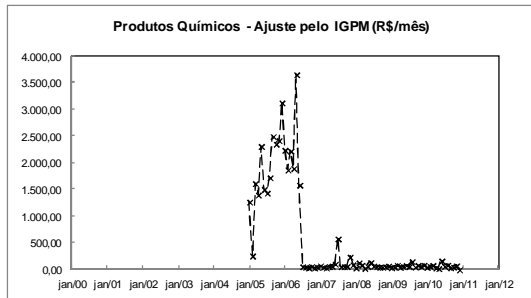


Figura 5.90 – Série temporal e *box-whisker* do custo com produto químico na ETE São Sebastião.

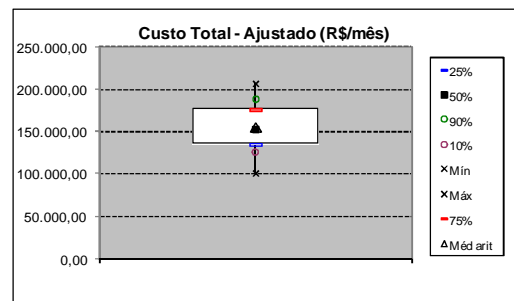
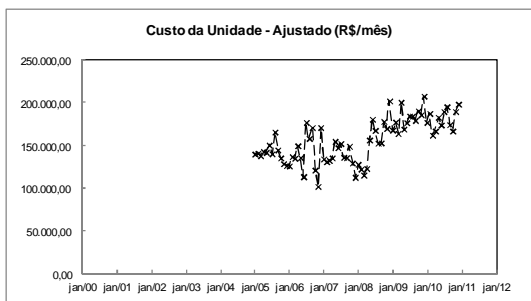


Figura 5.91 – Série temporal e *box-whisker* do custo total na ETE São Sebastião.

5.1.4 Análise comparativa conjunta das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião

A avaliação comparativa das ETEs Norte, Samambaia e São Sebastião foi desenvolvida considerando suas estatísticas descritivas, bem como seus percentuais de atendimento às metas estabelecidas para cada uma delas. Além disso, serão comparados os valores de produção de lodo, os consumos de energia e produtos químicos e os custos por m³ de esgoto tratado em cada uma das unidades em estudo.

A Tabela 5.23 apresenta as metas de concentração a serem alcançadas pelo efluente final e as metas de eficiência a serem alcançadas de modo geral pelo sistema, tal como definido no presente relatório, e explicado no respectivo item de cada ETE.

Tabela 5.23 – Metas adotadas para avaliação de desempenho das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

ETE	DBO	DQO	SS	NTK	N-Amon	P tot	Colif Term
Concentração Efluente							
Brasília Norte	30mg/L	90mg/L	20mg/L	12mg/L	10mg/L	1,0mg/L	10 ³ NMP/100mL
Samambaia	75mg/L	125mg/L	40mg/L	-	-	2,0mg/L	10 ³ NMP/100mL
São Sebastião	75mg/L	125mg/L	150mg/L	-	-	-	10 ³ NMP/100mL
Eficiência Remoção							
Brasília Norte	90%	85%	90%	80%	-	85%	99,99%
Samambaia	85%	85%	90%	-	-	85%	99,99%
São Sebastião	85%	85%	60%	-	-	-	99,99%

5.1.4.1 Concentrações do Efluente

Na Tabela 5.24 são comparadas as concentrações médias dos constituintes dos efluentes e os percentuais de atendimento às metas das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião. Na Figura 5.92 os gráficos *box-whisker* apresentam as concentrações mínima, máxima, média aritmética, percentis e metas dos constituintes do efluente das três referidas estações de tratamento do Distrito Federal.

As estações são diferentes entre si (distintos processos de tratamento), mas também o são as metas utilizadas. Observa-se, de maneira geral, percentuais de atendimento às metas de

concentração efluente superiores a 80%. A principal exceção é relativa à meta de coliformes. A ETE Samambaia apresenta etapas específicas destinadas a uma elevada remoção de coliformes (lagoas de alta taxa e de maturação com chicanas), enquanto a ETE São Sebastião também é constituída por lagoa de maturação e a ETE Brasília Norte não apresenta processo de remoção de coliformes em seu processo.

Vale ressaltar que, devido à melhoria no processo da ETE Samambaia (estudada no item 5.1.2.6), a partir do ano de 2007 as concentrações se apresentaram melhores que a situação mostrada no presente item, uma vez que aqui se considerou todo o período em estudo. Um exemplo são os dados de sólidos suspensos e de fósforo.

Tabela 5.24 – Comparação entre as concentrações médias dos constituintes dos efluentes e percentuais de atendimento às metas das ETES Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

Parâmetro	Concentração Média (mg/L)			Atendimento à Meta		
	Norte	Samambaia	S.Sebastião	Norte	Samambaia	S.Sebastião
DBO	9	29	45	97%	98%	<u>90%</u>
DQO	37	133	106	100%	<u>47%</u>	78%
SS	7	66	50	98%	<u>44%</u>	99%
NTK	8	36	19	82%	-	-
N-Amon	5	24	11	86%	-	-
P total	0,3	5,0	4,9	95%	<u>41%</u>	-
Colif.Term. ⁽¹⁾	9,43E+04	8,69E+03	2,79E+04	<u>5%</u>	70%	22%

Legenda: ⁽¹⁾NMP/100mL / Em negrito – Maior concentração média / Sublinhado – Menor atendimento à meta.

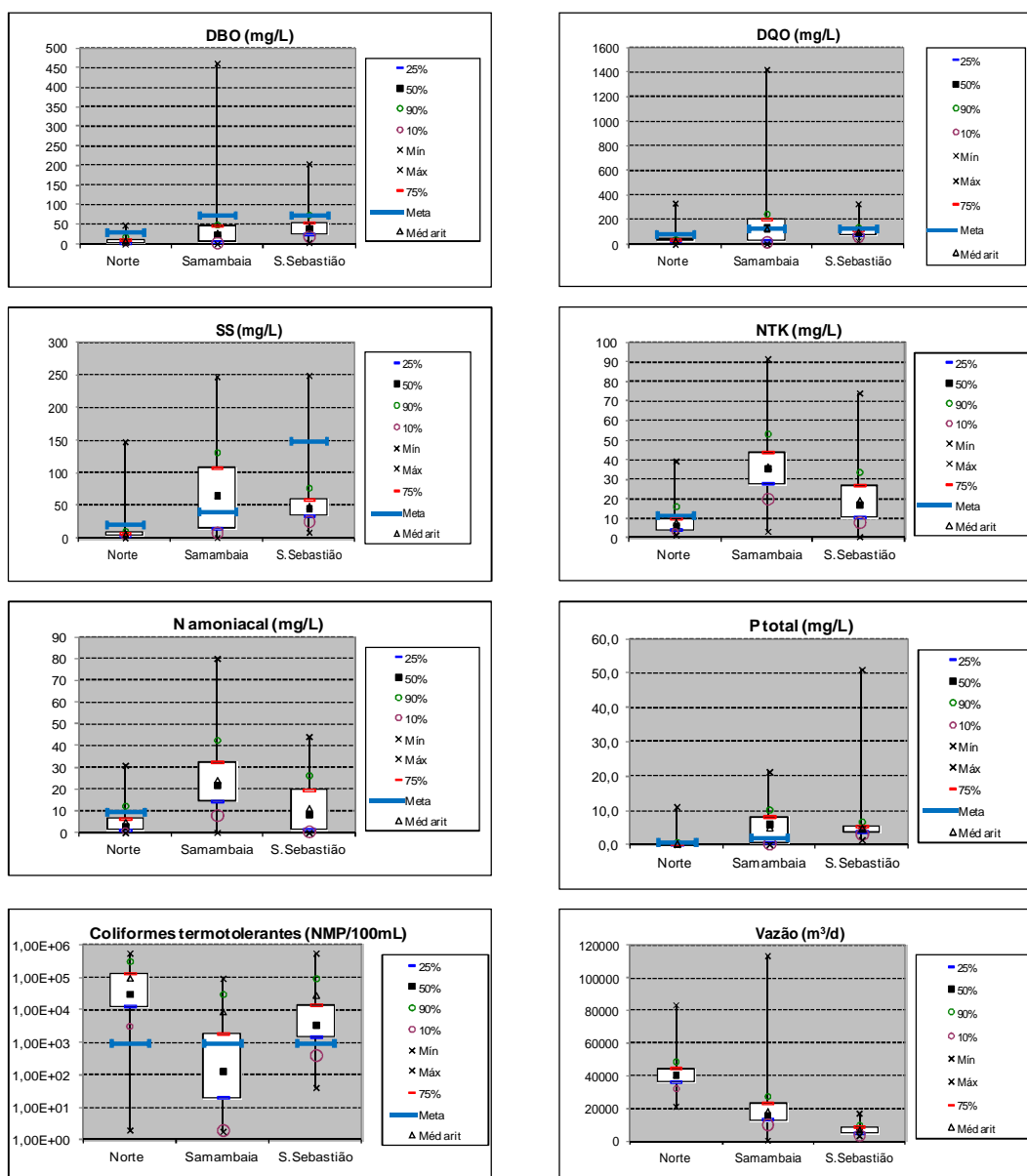


Figura 5.92 – Concentrações mínima, máxima, média aritmética, percentis e metas dos efluentes das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

5.1.4.2 Eficiências de Remoção

Na Tabela 5.25 são comparadas as eficiências médias dos constituintes dos efluentes e os percentuais de atendimento às metas de eficiência determinadas para as ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

Na Figura 5.93 gráficos *box-whisker* apresentam as eficiências mínima e máxima, bem como os percentis das eficiências das três referidas estações de tratamento do Distrito Federal. Por

se tratarem de ETEs com processos e portes distintos, notam-se eficiências e porcentagens de atendimento às metas diferentes. As menores eficiências ocorreram na ETE São Sebastião, porém a mesma apresentou bons níveis de atendimento às metas, possivelmente porque as metas estipuladas foram menos rigorosas.

Tabela 5.25 – Comparação entre as eficiências de remoção médias e percentuais de atendimento às metas das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

Parâmetro	Eficiência Média (%)			Atendimento a Meta (%)		
	Norte	Samambaia	S. Sebastião	Norte	Samambaia	S. Sebastião
DBO	97,1	94,2	89,2	97%	96%	<u>80%</u>
DQO	91,2	82,6	80,7	98%	<u>45%</u>	80%
SS	95,5	83,7	83,1	94%	<u>42%</u>	97%
NTK	82,9	45,3	66,8	73%	-	-
N-Amon	-	-	-	-	-	-
P tot	95,1	49,3	36,5	94%	<u>40%</u>	-
Colif Term	99,54	99,88	99,53	<u>5%</u>	72%	39%

Legenda: Em negrito – Menor eficiência média. / Sublinhado – Menor atendimento a meta.

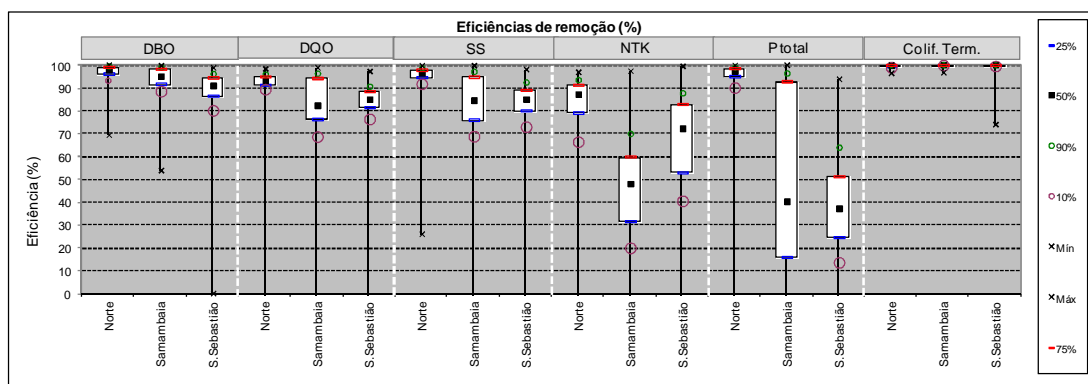


Figura 5.93 – Valores mínimos e máximos e percentis das eficiências de remoção das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

5.1.4.3 Produção de lodo, consumo de energia e produtos químicos e custos

A Figura 5.94 apresenta uma comparação entre as produções de lodo/m³ de esgoto tratado das ETEs Brasília Norte e São Sebastião. Vale lembrar que não foram disponibilizados dados de produção de lodo da ETE Samambaia.

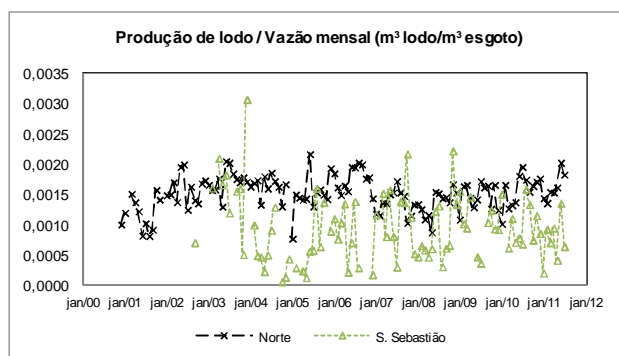


Figura 5.94 – Relação entre produção de lodo e vazão média das ETEs Brasília Norte e São Sebastião.

Na Figura 5.95 apresenta-se a relação entre cada um dos produtos químicos utilizados e a potência consumida nas ETEs em estudo e suas vazões médias mensais. Observa-se que o consumo de energia, de cal e de polieletrólito catiônico por m^3 de esgoto é superior na ETE Brasília Norte, enquanto o consumo de sulfato de alumínio e cloreto férrico por m^3 de esgoto tratado é mais elevado na ETE Samambaia.

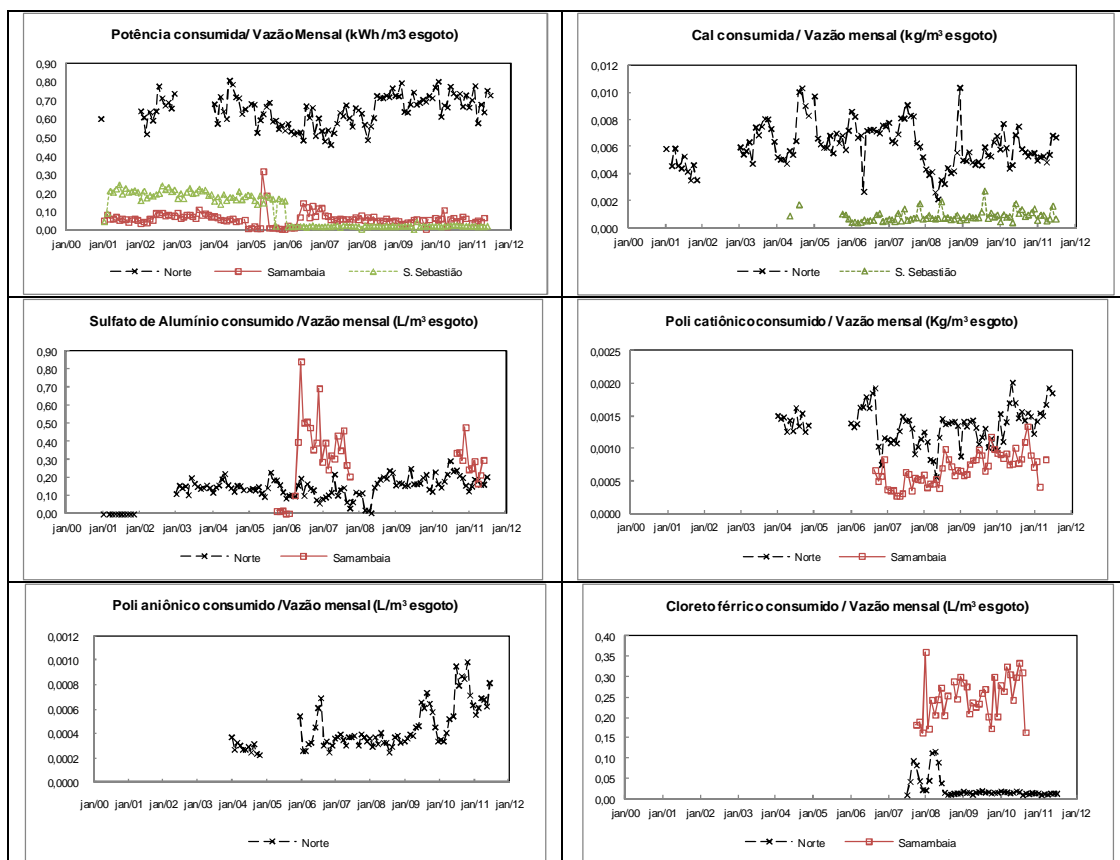


Figura 5.95 – Relação entre consumo de energia e de produtos químicos e vazão média das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

Os custos globais e discriminados por m³ de esgoto tratado, de cada ETE em estudo, são comparados na Figura 5.96.

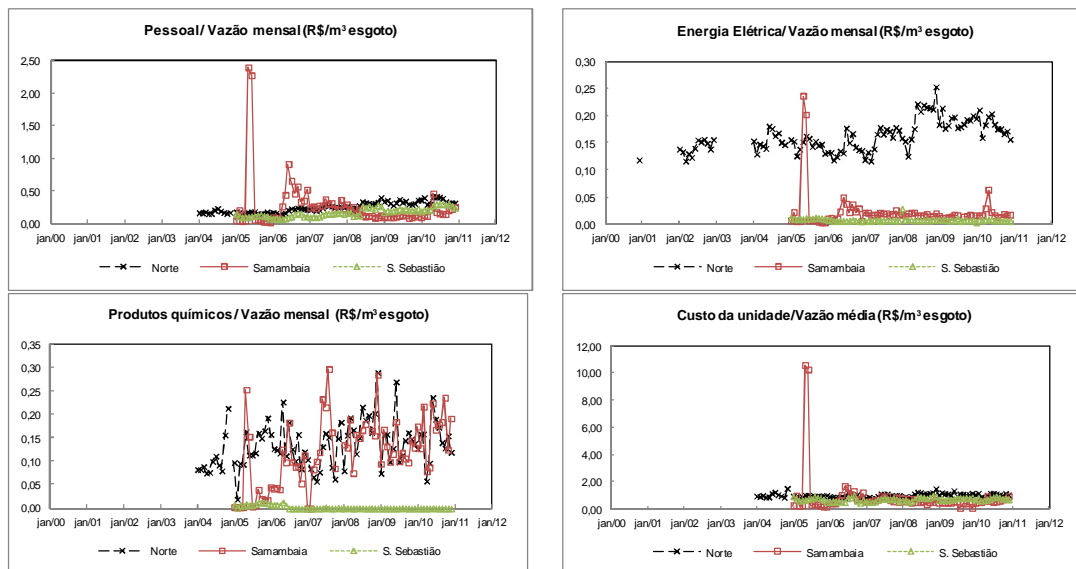


Figura 5.96 – Relação entre custos e vazão média das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

Na Tabela 5.26 são apresentados os valores médios referentes às relações de produção de lodo, consumo de insumos e custos com a vazão média das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião. De modo geral, as médias mais elevadas foram obtidas para a ETE Brasília Norte enquanto as mais baixas foram registradas para a ETE São Sebastião.

Tabela 5.26 – Valores médios referentes às relações de produção de lodo, insumos e custos com a vazão média das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

Parâmetro	Média		
	Norte	Samambaia	S. Sebastião
Prod. lodo (m ³ /m ³ esgoto)	0,0015	-	<u>0,0009</u>
Potência consum. (kWh/m ³ esgoto)	0,649	<u>0,060</u>	0,098
Cal (kg/m ³ esgoto)	0,006	-	<u>0,001</u>
Sulfato Alumínio (L/m ³ esgoto)	<u>0,138</u>	0,311	-
Poli catiônico (kg/m ³ esgoto)	0,0013	<u>0,0007</u>	-
Cloreto Férrico (L/m ³ esgoto)	<u>0,025</u>	0,249	-
Custo pessoal (R\$/m ³ esgoto)	0,253	0,264	<u>0,172</u>
Custo energia (R\$/m ³ esgoto)	0,161	0,022	<u>0,007</u>
Custo prod. quím. (R\$/m ³ esgoto)	0,135	0,118	<u>0,002</u>
Custo da unidade (R\$/m ³ esgoto)	0,953	0,838	<u>0,655</u>

Legenda: Em negrito – Maior média. / Sublinhado – Menor média.

5.2 Levantamento dos indicadores de desempenho existentes na literatura

O levantamento dos indicadores de desempenho existentes na literatura abrangeu sistemas de 16 organizações de saneamento, alcançando o total de 716 IDs. As organizações consideradas e os sistemas de IDs mais representativos para o presente estudo encontram-se no Capítulo 3, Revisão da Literatura.

A partir da análise dos IDs, observou-se que 275 tinham como finalidade a avaliação de estações de tratamento de esgotos. De modo a facilitar a identificação dos IDs semelhantes dentre estes, os IDs específicos para ETEs foram agrupados em critérios de avaliação, conforme listado na Tabela 5.27. Todos os IDs levantados apresentam-se listados no Apêndice A, associados aos referidos critérios.

Em seguida, selecionaram-se aqueles mais adequados para representar cada grupo de IDs semelhantes. Dessa forma, excluídos os coincidentes, foi possível obter o montante de 163 IDs.

Tabela 5.27 – Número de IDs levantados na literatura de acordo com os critérios de avaliação de ETEs.

Tema	Número de IDs da literatura	
	Total	Excluídos os coincidentes
Controle do monitoramento	22	15
Eficiência de remoção	21	10
Controle de by-pass	3	3
Metas de lançamento	21	16
Equipe de operação	18	11
Saúde ocupacional	7	5
Controle de resíduos e gases	48	25
Eficiência no uso de recursos	37	23
Adequação com a capacidade	6	4
Operação	9	9
Manutenção de equipamentos	3	3
Constituição do sistema	8	7
Inspeção	10	8
Custos	57	21
Informações	5	3
Total	275	163

5.3 Definição das informações iniciais do SISTEMA ID-ETE

A definição das informações iniciais foi baseada em uma proposta inicial, apresentada pela Adasa, de objetivos de sistemas de tratamento e critérios de avaliação, nas responsabilidades da regulação conforme lei 11.445 de 2007 e no diagnóstico de três sistemas de tratamento do Distrito Federal, apresentado no item 5.1 do presente estudo. Dessa forma, os objetivos considerados no presente estudo foram aqueles, dentre os objetivos dos serviços de esgotamento sanitário descritos na ISO 24511, que abarcam as finalidades de uma estação de tratamento de esgotos e que necessitam ser acompanhadas pela regulação. Os objetivos e critérios de avaliação adotados encontram-se na Tabela 5.28.

Tabela 5.28 – Objetivos e critérios adotados para avaliação de estações de tratamento de esgotos

Objetivos	Critérios
Proteção dos corpos de água (EPA)	<ul style="list-style-type: none">• Controle do monitoramento• Eficiência de remoção• Controle de <i>by-pass</i>• Metas de lançamento
Sustentabilidade ambiental (ESA)	<ul style="list-style-type: none">• Controle de resíduos e gases• Eficiência no uso de recursos
Sustentabilidade da infraestrutura (ESI)	<ul style="list-style-type: none">• Adequação com a capacidade• Operação
Sustentabilidade econômica (ESE)	<ul style="list-style-type: none">• Eficiência econômica
Relacionamento com a comunidade (ERC)	<ul style="list-style-type: none">• Informações

Para avaliação do atendimento ao objetivo proteção dos corpos de água, o critério **controle do monitoramento** tem como finalidade avaliar a representatividade do monitoramento da qualidade dos esgotos tratados, bem como reduzir as incertezas associadas aos dados gerados. Pelo critério **eficiência de remoção** é possível avaliar o funcionamento efetivo da ETE, enquanto pelo critério **controle de *by-pass*** se identifica o desempenho da ETE no que se refere aos impactos ambientais devido à necessidade do lançamento de esgotos sem tratamento, a partir das ocorrências de *by-pass* e extravasamentos. Concluindo os critérios de avaliação do referido objetivo, o critério **metas de lançamento** é utilizado para avaliar o atendimento a metas estabelecidas para o esgoto tratado, conhecendo-se, assim, seu impacto ambiental. Considera-se o atendimento a metas em termos de concentrações efluentes e de eficiências de remoção.

Para o objetivo sustentabilidade ambiental, pelo critério **controle de resíduos e gases**, é possível avaliar o gerenciamento dos subprodutos gerados em uma estação de tratamento de esgotos. Enquanto o critério **eficiência no uso de recursos** busca identificar se o consumo de insumos ocorre de modo otimizado e satisfatório.

O objetivo sustentabilidade da infraestrutura é avaliado pelo critério **adequação com a capacidade**, para se verificar se a ETE está sendo operada dentro de suas condições ótimas ou para as quais foi concebida, e pelo critério **operação**, pelo qual se busca avaliar a continuidade da operação a partir do conhecimento da dimensão de situações de emergências ocorridas em uma ETE e os procedimentos adotados quando da ocorrência dessas situações.

Com relação ao objetivo sustentabilidade econômica, sua avaliação é proposta a partir do critério **eficiência econômica**, que permite conhecer a eficiência do tratamento realizado pela ETE no âmbito de suas despesas e investimentos realizados.

Por fim, o objetivo relacionamento com a comunidade é avaliado pelo critério **informações**, pelo qual se avaliam as manifestações contrárias da comunidade em relação à ETE.

5.4 Seleção e desenvolvimento dos indicadores de desempenho

Definidos os objetivos do sistema e critérios de avaliação de estações de tratamento de esgotos, realizou-se a associação entre IDs relevantes e critérios. Dessa forma, identificaram-se aqueles IDs capazes de avaliar as estações pelo viés de uma agência reguladora. Os referidos IDs são apresentados a seguir, por critérios de avaliação, sendo identificadas todas as organizações de saneamento que consideram IDs similares a eles, bem como sua equação (Tabela 5.29 a Tabela 5.38). Vale ressaltar que, nessas tabelas, foram mantidas as terminologias originais, sendo conservado o modo de apresentação dos IDs das entidades que os utilizam.

Tabela 5.29 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **controle do monitoramento**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Cumprimento do número de análises exigido pela norma (%)	7 (ERSAR, LNEC, ABAR*, ADERASA, ISO, IWA)	Total de análises de águas residuárias feitas ao ano, referente ao montante total exigido pelos regulamentos	-
Teste de DQO (-/ano)	1 (IWA)	$wOp46 = (wD49 \times 365 / wH1) / wD59$	wD49 - Análises de DQO realizadas (n.º); wD59 - Análises de DQO requeridas pela legislação (n.º); wH1 - Duração do período de referência (dia)
Calibração dos equipamentos de monitor. da qualidade dos esgotos (-/ano)	1 (IWA)	$wOp14 = (wD21 \times 365 / wH1) / wC33$	wC33 - Amostradores automáticos de qualid. da água residuária(n.º); wD21 - Calibrações e amostrad. automáticos de qualid. da água residuária (n.º); wH1 - Duração do período de referência (dia)

* Entidade que considera o ID descrito.

Tabela 5.30 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **eficiência de remoção**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Eficiência de remoção de DBO (%)	4 (<i>Austrian System*</i> , UNB, SWWA, PNQS)	Não informa	-
Eficiência de remoção de DQO (%)	4 (<i>Austrian System*</i> , SWWA, UNB, LNEC)	Não informa	-
Eficiência de remoção de N (%)	3 (<i>Six Cities, Austrian System*</i> , SWWA)	Não informa	-
Eficiência de remoção de P (%)	3 (<i>Six Cities, Austrian System*</i> , SWWA)	Não informa	-

* Entidade que considera o ID descrito.

Tabela 5.31 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **controle de by-pass**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Volume de descargas de excedentes (m ³ /descarregador de tempestade/ano)	1 (IWA)	$wEn4 = (wA25 \times 365 / wH1) / wC19$	wA25 - Volume de descargas de excedentes (m ³); wC19 - Extravasores (estruturas de by-pass) (n.º); wH1 - Duração do período referência (dia)

Tabela 5.32 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **metas de lançamento**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Índice de esgoto tratado dentro dos padrões (%)	6 (LNEC, ABAR, AWWA, ADERASA*, WSAA)	Número total de análises conformes no ano/ Número total análises no ano (%)	-
Qualidade microbiológica da água recuperada nos pontos de lançamento (%)	1 (LNEC)	[Média dos 10% valores mais elevados medidos no ponto de lançam. com maiores contagens microbiológ. (unid. de concentr.) / máximo valor permitido (unid. de concentr.)] x 100	-

* Entidade que considera o ID descrito.

Tabela 5.33 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **controle de resíduos e gases**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Disposição de lodo	5 (ERSAR, IWA, OFWAT*)	(Lodo despejado de maneira insatisfatória / Total de lodo disposto) x100	No período de 1 ano
Qualidade de lodo (mg de contaminante/hab. ligado à rede de coleta/ano)	1 (SWWA)	NÃO INFORMA	-
Produção de biogás (m ³ /kg)	4 (SWWA, LNEC*)	Biogás produzido (m ³) / Massa de DBO afluente (kg)	-

* Entidade que considera o ID descrito.

Tabela 5.34 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **eficiência no uso de recursos**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Autonomia energética (%)	1 (LNEC)	Energia (gerador(s) de energia e outras instalações de geração com capacidade de armazenamento) (kW) / Potência instalada na ETE (kW)	-
Consumo de energia (kWh/m ³)	6 (ISO, UNB, <i>Austrian System</i> , SWWA, LNEC*, IWA)	Energia consumida (kWh)/ volume efluente tratado (m ³)	-
Consumo de polímeros para a desidratação (kg/e.p./ano)	2 (SWWA)	NÃO INFORMA	-
Consumo de precipitantes (mol de metal/e.p./ano)	2 (SWWA*, <i>Austrian System</i>)	NÃO INFORMA	-

* Entidade que considera o ID descrito.

Tabela 5.35 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **adequação com a capacidade**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Volume de esgoto tratado por capacidade instalada de tratamento * 100	3 (ISO, <i>Austrian System</i> , <i>Six Cities</i> *)	NÃO INFORMA	-
Adequação da capacidade mássica em DBO ₅ (%)	1 (LNEC)	[1 - (Capacidade mássica em DBO ₅ em sobrecarga + Capacidade mássica em DBO ₅ em subutilização (kg)/ Capacidade mássica total em DBO ₅ (kg))] x 100	-

* Entidade que considera o ID descrito.

Tabela 5.36 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **operação**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Interrupção do funcionamento de equipamentos-chave devido a falhas de energia	1 (LNEC)	Não informa	-

* Entidade que considera o ID descrito.

Tabela 5.37 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **eficiência econômica**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Custo do m ³ de esgoto tratado	3 (<i>Six Cities*</i> , IWA)	NÃO INFORMA	-
Custo com energia elétrica (Euro/m ³)	6 (LNEC*, SWWA, <i>Austrian System</i> , IWA)	Gastos com energia elétrica (Euro) / Água residuária tratada (m ³)	-
Custo de reagentes por m ³ de esgoto tratado	5 (SWWA, <i>Six Cities*</i> , LNEC)	NÃO INFORMA	-
Custos de pessoal (%)	4 (SWWA, IWA*, <i>Austrian System</i>)	$wFi11 = wG9 / wG6 \times 100$	wG6 - Custos correntes (US\$); wG9 - Custos com o pessoal (US\$)
Custo de disposição final de lodo (coroa sueca/e.p./ano)	1 (SWWA)	NÃO INFORMA	-

* Entidade que considera o ID descrito.

Tabela 5.38 – Identificação dos IDs representativos associados ao critério **informações**.

ID representativo	Número de entidades	Equação	Códigos da equação
Reclamações (Nº/ano)	3 (IWA, LNEC*)	$[N^\circ \text{ de reclamações (odor + incidentes de poluição + proliferação de insetos + barulho)} \times 365 \text{ (dias/ano)}] / \text{Período avaliado (dia)}$	-
Reclamações relativas a odores (Nº/1000 habitantes/ano)	1 (IWA)	$wQS23 = (wF16 \times 365 / wH1) / wE1 \times 1000$	wE1 - População residente (Hab.); wF16 - Reclamações relativas a odores (n.º); wH1 - Duração do período de referência (dia)

* Entidade que considera o ID descrito.

Baseando-se nas informações sintetizadas da Tabela 5.29 à Tabela 5.38, foram definidos os indicadores de desempenho a serem adotados no presente estudo. A Tabela 5.39 apresenta o número de IDs por objetivos e critérios, bem como seus códigos. No modo geral, propõem-se 39 IDs para avaliação de estações de tratamento de esgotos.

Tabela 5.39 – IDs propostos para as ETEs.

Objetivo	Critério	ID – ETE	
		Nº de IDs	ID
Proteção dos corpos de água	Controle do monitoramento	4	EPA-01 / EPA-02 / EPA-03 / EPA-04
	Eficiência de remoção	5	EPA-05 / EPA-06 / EPA-07 / EPA-08 / EPA-9
	Controle de <i>by-pass</i>	1	EPA-10
	Metas de lançamento	13	EPA-11 / EPA-12 / EPA-13 / EPA-14 / EPA-15 / EPA-16 / EPA-17 / EPA-18 / EPA-19 / EPA-20 / EPA-21 / EPA-22 / EPA-23
Sustentabilidade Ambiental	Controle de resíduos e gases	3	ESA-01 / ESA-02 / ESA-03
	Eficiência no uso de recursos	3	ESA-04 / ESA-05 / ESA-06
Sustentabilidade da Infraestrutura	Adequação com a capacidade	2	ESI-01 / ESI-02
	Operação	1	ESI-03
Sustentabilidade Econômica	Eficiência econômica	5	ESE-01 / ESE-02 / ESE-03 / ESE-04 / ESE-05
Relacionamento com a comunidade	Informações	2	ERC-01 / ERC-02

A seguir são apresentados os indicadores de desempenho propostos ordenados por objetivo e critério de avaliação. A padronização e caracterização dos IDs considerou as seguintes informações: numerador, denominador, equação, unidade, sentido de preferência, frequência de cálculo do indicador e disponibilidade dos dados necessários.

5.4.1 OBJETIVO 01: Proteção dos corpos de água

Critério 1.1: Controle do Monitoramento

EPA-01 – Atendimento ao número requerido de análises de afluentes - Global

Numerador: *Somatório dos percentuais das análises realizadas no mês para cada parâmetro adotado pela classe (ex: classe do Prodes) na qual a ETE se enquadra*

Denominador: *Número de parâmetros adotados pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

EPA-02 – Atendimento ao número requerido de análises de efluentes - Global

Numerador: *Somatório dos percentuais das análises realizadas no mês para cada parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra*

Denominador: *Número de parâmetros adotados pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo: *Mensal*

EPA-03 – Atendimento ao número requerido de análises de DQO

Numerador: *Número de análises de DQO realizadas no mês*

Denominador: *Número de análises de DQO exigidas no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo: *Mensal*

EPA-04 – Calibração dos equipamentos de monitoramento da qualidade dos esgotos e medição de vazão

Numerador: *Número de equipamentos de monitoramento com calibração atualizada de acordo com a orientação do fabricante*

Denominador: *Número de equipamentos de monitoramento*

Equação: $\text{Numerador}/\text{Denominador}$

Unidade: *-/Equipamento de monitoramento*

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Considerar equipamentos necessários para análise de parâmetros adotados pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra e medidores de vazão.*

Critério 1.2: Eficiência de Remoção

EPA-05 – Eficiência de remoção de DQO

Numerador: *[Concentração de DQO no afluente (mg/L) - Concentração de DQO no efluente (mg/L)]*

Denominador: *Concentração de DQO no afluente (mg/L)*

Equação: *(Numerador/Denominador)x100*

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Em ETES onde ocorra substancial perda de água no processo (evapotranspiração), calcular este ID com base em carga*

EPA-06 – Eficiência de remoção de SST

Numerador: *[Concentração de SST no afluente (mg/L) - Concentração de SST no efluente em (mg/L)]*

Denominador: *Concentração de SST no afluente (mg/L)*

Equação: *(Numerador/Denominador)x100*

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

EPA-07 – Eficiência de remoção de NTK

Numerador: *[Concentração de NTK no afluente (mg/L) - Concentração de NTK no efluente em (mg/L)]*

Denominador: *Concentração de NTK no afluente (mg/L)*

Equação: *(Numerador/Denominador)x100*

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Utilizar quando NTK for um parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra ou quando o tratamento objetiva sua remoção*

EPA-08 – Eficiência de remoção de P

Numerador: *[Concentração de P no afluente (mg/L) - Concentração de P no efluente (mg/L)]*

Denominador: *Concentração de P no afluente (mg/L)*

Equação: *(Numerador/Denominador)x100*

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Utilizar quando P for um parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra ou quando o tratamento objetiva sua remoção*

EPA-09 – Eficiência de remoção de coliformes termotolerantes

Numerador: *[Concentração de colif. term. no afluente (NMP/100mL) - Concentração de colif. term. no efluente (NMP/100mL)]*

Denominador: *Concentração de colif. term. no afluente (NMP/100mL)*

Equação: *$-\log(1 - \text{Numerador}/\text{Denominador})$*

Unidade: *Unidades log removidas*

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Critério 1.3: Controle de by-pass

EPA-10 – Percentual de by-pass de esgoto bruto

Numerador: *Volume by-passado no mês (m³)*

Denominador: *[Volume efetivamente tratado no mês (m³) + volume do esgoto bruto by-passado no mês (m³)]*

Equação: *$(\text{numerador}/\text{denominador}) \times 100$*

Unidade: *%*

Sentido de preferência: *decrecente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Critério 1.4: Metas de Lançamento

EPA-11 – Atendimento às metas de concentração efluente - Global

Numerador: *Somatório das médias mensais dos percentuais de atendimento às metas de concentração de cada parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra no mês*

Denominador: *Número de parâmetros adotados pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra*

Equação: *$(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$*

Unidade: *%*

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

EPA-12 – Atendimento às metas de concentração efluente de DQO

Numerador: *Número de análises de DQO com resultado inferior à meta no mês*

Denominador: *Número de análises de DQO realizadas no mês*

Equação: *$(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$*

Unidade: *%*

Sentido de preferência: *Crescente*

EPA-13 – Atendimento às metas de concentração efluente de SST

Numerador: *Número de análises de SST com resultado inferior à meta no mês*

Denominador: *Número de análises de SST realizadas no mês*

Equação: *$(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$*

Unidade: *%*

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

EPA-14 – Atendimento às metas de concentração efluente de NTK

Numerador: *Número de análises de NTK com resultado inferior à meta no mês*

Denominador: *Número de análises de NTK realizadas no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Utilizar quando NTK for um parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra ou quando o tratamento objetiva sua remoção*

EPA-15 – Atendimento às metas de concentração efluente de P

Numerador: *Número de análises de P com resultado inferior à meta no mês*

Denominador: *Número de análises de P realizadas no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Utilizar quando P for um parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra ou quando o tratamento objetiva sua remoção*

EPA-16 – Atendimento às metas de concentração efluente de coliformes termotolerantes

Numerador: *Número de análises de colif. term. com resultado inferior à meta no mês*

Denominador: *Número de análises de colif. term. realizadas no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Utilizar quando o tratamento da ETE objetiva a remoção coliformes termotolerantes*

EPA-17 – Atendimento às metas de eficiência de remoção pela ETE - Global

Numerador: *Somatório das médias mensais dos percentuais de atendimento às metas de eficiência de remoção de cada parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra no mês*

Denominador: *Número de parâmetros adotados pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

EPA-18 – Atendimento às metas de eficiência de remoção de DQO pela ETE

Numerador: *Número de registros de eficiências de remoção de DQO com resultado superior à meta no mês*

Denominador: *Número de registros de eficiência de remoção de DQO realizados no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

EPA-19 – Atendimento às metas de eficiência de remoção de SST pela ETE

Numerador: *Número de registros de eficiências de remoção de SST com resultado superior à meta no mês*

Denominador: *Número de registros de eficiência de remoção de SST realizados no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

EPA-20 – Atendimento às metas de eficiência de remoção de NTK pela ETE

Numerador: *Número de registros de eficiências de remoção de NTK com resultado superior à meta no mês*

Denominador: *Número de registros de eficiência de remoção de NTK realizados no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Utilizar quando NTK for um parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra ou quando o tratamento objetiva sua remoção*

EPA-21 – Atendimento às metas de eficiência de remoção de P pela ETE

Numerador: *Número de registros de eficiências de remoção de P com resultado superior à meta no mês*

Denominador: *Número de registros de eficiência de remoção de P realizados no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Utilizar quando P for um parâmetro adotado pela classe (ex: Prodes) na qual a ETE se enquadra ou quando o tratamento objetiva sua remoção*

EPA-22 – Atendimento às metas de eficiência de remoção de coliformes termotolerantes pela ETE

Numerador: *Número de registros de eficiências de remoção de coliformes termotolerantes com resultado superior à meta no mês*

Denominador: *Número de registros de eficiência de remoção de coliformes termotolerantes realizados no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Utilizar quando o tratamento da ETE objetiva a remoção coliformes termotolerantes.*

EPA-23 – Efetividade do atendimento à meta de DQO pelo efluente - Média dos valores desconformes

Numerador: *Média de todas as concentrações de DQO superiores à meta no mês em mg/L*

Denominador: *Concentração da meta em mg/L*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Para interpretação, recomenda-se a observação do número de dados obtidos em um ano. Ele se refere ao número de meses em que aconteceram concentrações de DQO superiores à meta. Recomenda-se também observar os meses de ocorrência para se identificar a interferência da sazonalidade*

5.4.2 OBJETIVO 2: Sustentabilidade ambiental

Critério 2.1: Controle de resíduos e gases

ESA-01 – Lodo com destino final adequado

Numerador: *Quantidade do lodo que recebe destino final adequado no mês (*)*

Denominador: *Quantidade do lodo gerado no tratamento no mês (*)*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Serão reconhecidos como destino final adequado aqueles aprovados pela agência reguladora ou órgão responsável pelo licenciamento da ETE. (*) Considerar a unidade definida pelas referidas instituições (exemplo: volume, massa, massa de sólidos totais ou sólidos secos)*

ESA-02 – Atendimento à meta de número de ovos de helmintos no lodo

Numerador: *Número de análises de ovos de helmintos totais no lodo com resultados menor ou igual à meta no mês*

Denominador: *Número de análises de ovos de helmintos totais no lodo realizadas no mês*

Equação: $(\text{Numerador}/\text{Denominador}) \times 100$

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Ser calculado apenas quando o destino final do lodo seja a utilização agrícola (ver CONAMA N° 375/2006)*

ESA-03 – Volume de biogás com destinação adequada

Numerador: *Volume de biogás que recebe destino final adequado no mês (m³)*

Denominador: *Volume de biogás gerado no tratamento no mês (m³)*

Equação: *(Numerador/Denominador)x100*

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Serão reconhecidos como destino final adequado aqueles aprovados pela agência reguladora ou órgão responsável pelo licenciamento da ETE*

Critério 2.2: Eficiência no uso de recursos

ESA-04 – Autonomia energética

Numerador: *Potência instalada dos geradores e de outras instalações de geração com capacidade de armazenamento (kW)*

Denominador: *Potência média consumida na ETE (kW)*

Equação: *(Numerador/Denominador)x100*

Unidade: %

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

ESA-05 – Consumo de energia

Numerador: *Energia consumida no mês (kWh)*

Denominador: *Volume de esgoto tratado no mês (m³)*

Equação: *Numerador/Denominador*

Unidade: *kWh/m³ esgoto tratado*

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

ESA-06 – Consumo de produtos químicos

Numerador: *Consumo de produtos químicos no mês (ex: L)*

Denominador: *Volume de esgoto tratado no mês (m³)*

Equação: *Numerador/Denominador*

Unidade: *L/m³ esgoto tratado*

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *O numerador também pode ser medido como massa (exemplo:kg). Pode ser utilizado para os produtos químicos mais consumidos.*

5.4.3 OBJETIVO 3: Sustentabilidade da infraestrutura

Critério 3.1: Adequação com a capacidade

ESI-01 – Adequação da capacidade hidráulica

Numerador: *Vazão média afluyente no mês (m³/s)*

Denominador: *Capacidade média declarada pela prestadora de serviços (m³/s)*

Equação: *(Numerador/Denominador)x100*

Unidade: %

Sentido de preferência: *Valor inferior a 100% indica condição de subcarga e valor superior a 100% indica condição de sobrecarga. Na condição de subcarga, o sentido de preferência é indefinido. Na condição de sobrecarga, o sentido de preferência é decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

ESI-02 – Adequação da capacidade em termos de carga orgânica

Numerador: *Carga média de DQO no mês (kg/d)*

Denominador: *Carga média de DQO de projeto ou declarada pela prestadora de serviços (kg/d)*

Equação: *(Numerador/Denominador)x100*

Unidade: %

Sentido de preferência: *Valor inferior a 100% indica condição de subcarga e valor superior a 100% indica condição de sobrecarga. Na condição de subcarga, o sentido de preferência é indefinido. Na condição de sobrecarga, o sentido de preferência é decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Critério 3.2: Operação

ESI-03 – Interrupção do funcionamento de qualquer etapa do tratamento por mais de 30 minutos devido a falhas

Numerador: *Número de interrupções do funcionamento do tratamento por mais de 30 minutos devido a falhas no mês*

Denominador: -

Equação: *Numerador*

Unidade: *-/Mês*

Sentido de preferência: *Crescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Para cada interrupção reportar a ocorrência, consequências e providências*

5.4.4 OBJETIVO 4: Sustentabilidade econômica

Critério 4.1: Eficiência econômica

ESE-01 – Custo do tratamento de esgoto

Numerador: *Custo do m³ de esgoto tratado no mês (R\$)*

Denominador: *Volume de esgoto tratado no mês (m³)*

Equação: *Numerador/Denominador*

Unidade: *R\$/m³ esgoto tratado*

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

ESE-02 – Custo de energia elétrica

Numerador: *Custo de energia no mês (R\$)*

Denominador: *Volume de esgoto tratado no mês (m³)*

Equação: *Numerador/Denominador*

Unidade: *R\$/m³ esgoto tratado*

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

ESE-03 – Custo de produtos químicos

Numerador: *Custo de produtos químicos no mês (R\$)*

Denominador: *Volume de esgoto tratado no mês (m³)*

Equação: *Numerador/Denominador*

Unidade: *R\$/m³ esgoto tratado*

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

ESE-04 – Custos de pessoal

Numerador: *Custos de pessoal no mês (R\$)*

Denominador: *Volume de esgoto tratado no mês (m³)*

Equação: *Numerador/Denominador*

Unidade: *R\$/m³ esgoto tratado*

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

ESE-05 – Custo de disposição final do lodo

Numerador: *Custos de disposição final do lodo no mês (R\$)*

Denominador: *Volume de esgoto tratado no mês (m³)*

Equação: *Numerador/Denominador*

Unidade: *R\$/m³ esgoto tratado*

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

5.4.5 OBJETIVO 5: Relacionamento com a comunidade

Critério 5.1: Informações

ERC-01 – Reclamações

Numerador: *Número de reclamações no mês*

Denominador: *Volume de esgoto tratado no mês (m³)*

Equação: *Numerador/Denominador*

Unidade: *-/m³ esgoto tratado*

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Para cada reclamação reportar a ocorrência, consequências e providências tomadas*

ERC-02 – Reclamações relativas a odores

Numerador: *Número de reclamações relativas a odores no mês*

Denominador: *Volume de esgoto tratado no mês (m³)*

Equação: *Numerador/Denominador*

Unidade: *-/m³ esgoto tratado*

Sentido de preferência: *Decrescente*

Frequência de cálculo do indicador: *Mensal*

Obs: *Para cada reclamação reportar a ocorrência, consequências e providências tomadas*

5.5 Componentes complementares do SISTEMA ID-ETE

5.5.1 Fatores de contexto

No âmbito do presente estudo, considerou-se relevante o levantamento dos seguintes fatores de contexto:

- Tipo de processo de tratamento.
- Objetivos de remoção: finalidade e concepção da estação de tratamento de esgotos em termos de remoção de constituintes do esgoto bruto.
- Tempo de operação da estação de tratamento de esgotos.
- Clima e susceptibilidade do sistema à perda de água (evapotranspiração).
- Ocorrência de mudanças no processos de tratamento.
- Susceptibilidade à falta de energia elétrica no sistema de transporte e de tratamento de esgotos.

- Entrada de águas pluviais na rede de coleta.
- Recebimento de efluentes não domésticos e de outros resíduos.
- Número de produtos químicos diferentes necessários para os processos de tratamento.

5.5.2 Classificação da qualidade os dados

A qualidade dos dados foi classificada a partir dos seguintes critérios:

- Critério A: Ser proveniente de fontes oficiais.
- Critério B: Utilizar métodos analíticos adequados.
- Critério C: Realizar amostragem representativa.
- Critério D: Não apresentar dados inconsistentes ou apresentar em escassez.

Vale ressaltar que o presente estudo considera dois tipos de dados: os dados referentes às características do esgoto bruto e tratado, sendo esses dados físico-químicos e de vazão, e dados referentes à operação da ETE, como custos, consumo de insumos e produção de lodo. A Tabela 5.40 mostra a classificação dos dados conforme os critérios atendidos tanto para dados referentes à características do esgoto quanto à operação da ETE.

Tabela 5.40 – Classificação da qualidade dos dados utilizados para cálculo dos IDs.

Classificação da qualidade dos dados	Critérios atendidos	
	Característica esgoto	Operação da ETE
Adequada	A, B, C e D	A e D
Parcialmente adequada	3 ou 2 critérios	A ou D
Inadequada	1 ou 0 critério	Nenhum

5.6 Aplicação do SISTEMA ID-ETE

No presente item são apresentados os resultados obtidos pela aplicação do SISTEMA ID-ETE para as estações Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião. Primeiramente será apresentado o levantamento das informações complementares, ou seja, dos fatores de contexto e classificação da qualidade dos dados, uma vez que as mesmas subsidiam a análise dos resultados obtidos pelo cálculo dos IDs, apresentada em seguida.

5.6.1 Fatores de contexto

Uma vez que se localizam no Distrito Federal e são de responsabilidade da mesma prestadora de serviço, a Caesb, as ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião apresentam diversos fatores de contexto semelhantes como clima, susceptibilidade à falta de energia elétrica no sistema de transporte e de tratamento de esgotos, e entrada de águas pluviais na rede de coleta. Aqueles que se diferenciam em cada estação encontram-se detalhados na Tabela 5.41.

Tabela 5.41 – Identificação dos fatores de contexto distintos em cada ETE.

Fatores de Contexto	ETE		
	Brasília Norte	Samambaia	São Sebastião
Processo de tratamento	Lodos ativados/ remoção biológica de nutrientes/ polimento	UASB na entrada de lagoas facultativas/ lagoas de alta taxa/ lagoas de maturação/ polimento	UASB/ escoamento superficial/ lagoas de maturação
Objetivo de remoção	Sólidos, matéria orgânica, nitrogênio e fósforo	Sólidos, matéria orgânica, fósforo e patógenos	Sólidos, matéria orgânica e patógenos
Tempo de operação	18 anos	16 anos	14 anos
Susceptibilidade a perdas de água (evapotranspiração)	N	NI (porém, possível)	S
Mudanças no processo	S (em 2005)	S (em 2006)	N
Recebimento de efluentes não domésticos e/ou outros	S (lodo de fossa)	S (chorume)	NI
Produtos químicos utilizados	6	3	1

Legenda: S – sim / NI – não foi identificado / N – não.

5.6.2 Classificação da qualidade dos dados

Para as três ETEs em estudo, os dados utilizados no cálculo dos IDs são provenientes de fonte oficial, tanto para as características dos esgotos quanto para a operação das ETEs, uma vez que foram disponibilizados pela Caesb.

A Caesb informa que, para os dados físico-químicos, as amostras de esgotos foram obtidas a partir de amostragens compostas e que a análise das mesmas acontece conforme recomendações do *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, edição do ano 2000, com adaptações e controlados com padrões analíticos certificados.

Com relação à base de dados, verificaram-se dados inconsistentes com bastante escassez, ocorrendo no máximo dois valores em uma mesma ETE.

Dessa forma, os dados das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião foram classificados como adequados para aplicação no cálculo dos IDs constituintes do SISTEMA ID-ETE.

5.6.3 Cálculo dos indicadores de desempenho

Para cálculo dos IDs, optou-se por trabalhar com os dados do período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010, já que, anteriormente a este período, ocorreram mudanças no processo de tratamento de duas das três estações analisadas. Conhecendo-se os dados disponibilizados para o referido período, os IDs foram classificados entre *disponível*, *possível* e *medição*, conforme se apresenta, por objetivo, da Tabela 5.42 à Tabela 5.46.

Verifica-se que, dentre os 39 IDs propostos, 28 têm os dados disponíveis e podem ser calculados no âmbito do presente estudo (*disponível*). Com relação aos demais, nota-se que para 7 deles possivelmente os dados necessários encontram-se na prestadora de serviço, porém não foram repassados à equipe do projeto (*possível*). E para cálculo dos outros 4, a prestadora precisaria realizar medições para obter os dados necessários (*medição*).

Tabela 5.42 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo proteção dos corpos de água.

ID	Nome	Disponibilidade dos dados
EPA-01	Atendimento ao nº requerido de análises de afluentes - Global (%)	Disponível
EPA-02	Atendimento ao nº requerido de análises de efluentes - Global (%)	Disponível
EPA-03	Atendimento ao nº requerido de análises de DQO (%)	Disponível
EPA-04	Calibração dos equipamentos de monitoramento da qualidade dos esgotos e medição de vazão (-/Equipamento de monitoramento)	Possível
EPA-05	Eficiência de remoção de DQO (%)	Disponível
EPA-06	Eficiência de remoção de SST (%)	Disponível
EPA-07	Eficiência de remoção de NTK (%)	Disponível
EPA-08	Eficiência de remoção de P (%)	Disponível
EPA-09	Eficiência de remoção de colif. termot. (unid. log removidas)	Disponível
EPA-10	Percentual de by-pass de esgoto bruto (%)	Medição
EPA-11	Atendimento às metas de concentração efluente - Global (%)	Disponível
EPA-12	Atendimento às metas de concentração efluente de DQO (%)	Disponível
EPA-13	Atendimento às metas de concentração efluente de SST (%)	Disponível
EPA-14	Atendimento às metas de concentração efluente de NTK (%)	Disponível
EPA-15	Atendimento às metas de concentração efluente de P (%)	Disponível
EPA-16	Atendimento às metas de concentração efluente de colif. termot. (%)	Disponível
EPA-17	Atendimento às metas de eficiência de remoção - Global (%)	Disponível
EPA-18	Atendimento às metas de eficiência de remoção de DQO (%)	Disponível
EPA-19	Atendimento às metas de eficiência de remoção de SST (%)	Disponível
EPA-20	Atendimento às metas de eficiência de remoção de NTK (%)	Disponível
EPA-21	Atendimento às metas de eficiência de remoção de P (%)	Disponível
EPA-22	Atendimento às metas de eficiência de remoção de colif. termot. (%)	Disponível
EPA-23	Efetividade do atendimento à meta de DQO efluente - Média dos valores desconformes (%)	Disponível

Tabela 5.43 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo sustentabilidade ambiental.

ID	Nome	Disponibilidade dos dados
ESA-01	Lodo com destino final adequado (%)	Possível
ESA-02	Atendimento à meta de nº de ovos de helmintos no lodo (%)	Possível
ESA-03	Volume de biogás com destinação adequada (%)	Medição
ESA-04	Autonomia energética (%)	Possível
ESA-05	Consumo de energia (kWh/m ³ esgoto tratado)	Disponível
ESA-06	Consumo de produtos químicos (kg ou L/m ³ esgoto tratado)	Disponível

Tabela 5.44 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo sustentabilidade da infraestrutura.

ID	Nome	Disponibilidade dos dados
ESI-01	Adequação da capacidade hidráulica (%)	Disponível
ESI-02	Adequação da capacidade em termos de carga orgânica (%)	Medição
ESI-03	Interrupção do funcionamento de qualquer etapa do tratamento por mais de 30 min. devido a falhas (-/Mês)	Medição

Tabela 5.45 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo sustentabilidade econômica.

ID	Nome	Disponibilidade dos dados
ESE-01	Custo do tratamento de esgoto (R\$/m ³ esgoto tratado)	Disponível
ESE-02	Custo de energia elétrica (R\$/m ³ esgoto tratado)	Disponível
ESE-03	Custo de produtos químicos (R\$/m ³ esgoto tratado)	Disponível
ESE-04	Custos de pessoal (R\$/m ³ esgoto tratado)	Disponível
ESE-05	Custo de disposição final do lodo (R\$/m ³ esgoto tratado)	Possível

Tabela 5.46 – Classificação dos indicadores do SISTEMA ID-ETE conforme disponibilidade dos dados – Objetivo relacionamento adequado com a comunidade.

ID	Nome	Disponibilidade dos dados
ERC-01	Reclamações (-/m ³ esgoto tratado)	Possível
ERC-02	Reclamações relativas a odores (-/m ³ esgoto tratado)	Possível

Para ser possível o cálculo dos IDs propostos, foi necessário adotar as seguintes premissas:

- Para o cálculo dos IDs EPA-01 a EPA-03, estipulou-se a quantidade de análises exigidas por mês, tanto para o afluente quanto para o efluente, como 12, já que, dentre as análises realizadas pela Caesb, esta é a quantidade máxima para um parâmetro, por mês.
- No cálculo dos IDs EPA-01, EPA-02, EPA-11 e EPA-17 foram considerados os parâmetros determinados pelo Prodes para a Classe em que a ETE é enquadrada pela Caesb:
 - Para a ETE Brasília Norte, enquadrada na Classe H: DBO, SST, NTK e P total.
 - Para as ETEs Samambaia e São Sebastião, enquadradas na Classe D: DBO e SST.
- Para o cálculo dos IDs EPA-11 a EPA-16 e EPA-23, referentes aos percentuais de atendimento às metas de concentrações efluentes, foram adotadas as mesmas metas adotadas do item 5.1 do presente estudo, sendo elas:
 - ETE Brasília Norte: 30mg/L para DBO, 90 mg/L para DQO, 20 mg/L para SST, 12 mg/L para NTK e 1,0 mg/L para P total e 1000 NMP/100mL para coliformes termotolerantes.
 - ETE Samambaia: 75 mg/L para DBO, 125 mg/L para DQO, 40 mg/L para SST e 2,0 mg/L para P total e 1000 NMP/100mL para coliformes termotolerantes.
 - ETE São Sebastião: 75 mg/L para DBO, 125 mg/L para DQO, 150 mg/L para SST e 1000 NMP/100mL para coliformes termotolerantes.

- Para o cálculo dos IDs EPA-17 a EPA-22, referentes aos percentuais de atendimento às metas de eficiências de remoção, foram adotadas as mesmas metas do item 5.1 do presente estudo, sendo elas:
 - ETE Brasília Norte: 90% para DBO, 85% para DQO, 90% para SST, 80% para NTK e 85% para P total e 99,999% para coliformes termotolerantes.
 - ETE Samambaia: 85% para DBO, 85% para DQO, 90% para SST, 85% para P total e 99,99% para coliformes termotolerantes.
 - ETE São Sebastião: 85% para DBO, 85% para DQO, 60% para SST e 99,99% para coliformes termotolerantes.
- Para o cálculo do ID ESI-01, referente à adequação da capacidade hidráulica, foi utilizada a vazão média de projeto da ETE. Porém, o ID se tornará mais representativo ao se utilizar a capacidade média declarada pela Caesb como a capacidade ótima de funcionamento da ETE.
- Para o cálculo dos IDs ESE-01 a ESE-04, referentes aos custos, os valores disponibilizados foram ajustados a partir dos seguintes índices, conforme explicado no item 4.2.7 do presente estudo: IGPM (Índice Geral de Preços do Mercado) para custos com produtos químicos, reajuste tarifário da Companhia Energética de Brasília (CEB) para custos com energia elétrica e INPC (Índice Nacional de Preços ao Consumidor) para custos com pessoal e demais custos. É importante destacar que, além dos custos com pessoal, energia e produtos químicos, o custo do tratamento (ESE-01) contempla laboratório, limpeza, conservação, vigilância, material expediente, manutenção, serviços, e locação de transporte.
- Para cálculo do ID ESA-06, adotou-se o produto químico mais consumido em cada ETE ao longo dos 4 anos analisados:
 - ETE Brasília Norte: sulfato de alumínio.
 - ETE Samambaia: cloreto férrico.
 - ETE São Sebastião: cal, único produto químico consumido.

A seguir são apresentados os resultados obtidos pelos cálculos dos IDs constituintes do SISTEMA ID-ETE, possíveis de serem calculados, na avaliação das ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião. Ao final, apresenta-se uma avaliação comparativa das três estações estudadas.

5.6.3.1 ETE Brasília Norte

Da Figura 5.97 à Figura 5.104 encontram-se as séries temporais dos IDs calculados para avaliação do desempenho da ETE Brasília Norte. Em seguida, a Tabela 5.47 e a Tabela 5.48 apresentam, respectivamente, uma estatística dos resultados obtidos e a dispersão dos mesmos, por objetivo.

No âmbito do objetivo proteção dos corpos de água (Figura 5.97 a Figura 5.101), nota-se que os IDs associados ao critério controle do monitoramento, EPA-01, EPA-02 e EPA-03, apresentaram decaimento ao longo dos anos, o que indicou que o número de análises realizadas, tanto em termos globais quanto para o parâmetro DQO, passou por reduções, a partir de maio de 2010. No entanto, a média e a mediana alcançaram valores elevados, principalmente para EPA-03, sendo estas 92% e 100%. Além disso, para este ID, verifica-se uma quantidade elevada de resultados superiores a 100%, ou seja, em alguns meses foram realizadas mais de 12 análises de DQO.

Com relação aos resultados obtidos para os IDs referentes ao critério eficiência de remoção, nota-se que variaram, de modo geral, entre o intervalo de 63% e 97% considerando os IDs de EPA-05 a EPA-08. Portanto, foram obtidas médias elevadas, que variaram entre 85% e 95%. Já para EPA-09, referente ao parâmetro coliformes termotolerantes, a média obtida foi de 2,5 unidades log removidas.

Dentre os IDs de avaliação do atendimento às metas de concentração do efluente (EPA-11 a EPA-16), todos os resultados obtidos encontram-se superiores a 70%, com exceção apenas do EPA-14 e do EPA-16, referentes ao NTK e ao coliformes termotolerantes, respectivamente, sendo que para o último observa-se a desconformidade completa em todo o período. Já com relação aos IDs de atendimento às metas de eficiências de remoção (EPA-17 a EPA-22), os resultados encontram-se acima de 60% de modo geral, ocorrendo as mesmas exceções.

Apenas para três meses do período monitorado foi possível calcular o ID EPA-23, já que seu cálculo depende das ocorrências de médias mensais superiores à meta de concentração de DQO. Nota-se a frequência de meses com cálculo deste ID de um mês por ano, em 2007, 2008 e 2009. Já em 2010 não houve ocorrências. Não foi possível identificar uma interferência da sazonalidade uma vez que um resultado ocorreu no mês de maio, período seco, enquanto os outros dois correspondem aos meses de março e outubro, período chuvoso.

A média registrada para o EPA-23 foi de 112%, indicando que a média dos valores desconformes representa 112% do valor da meta.

De modo geral, nota-se que os resultados obtidos para o objetivo proteção dos corpos de água são satisfatórios, sendo necessários ajustes pontuais como a remoção de coliformes termotolerantes e NTK para atendimento às suas metas no efluente.

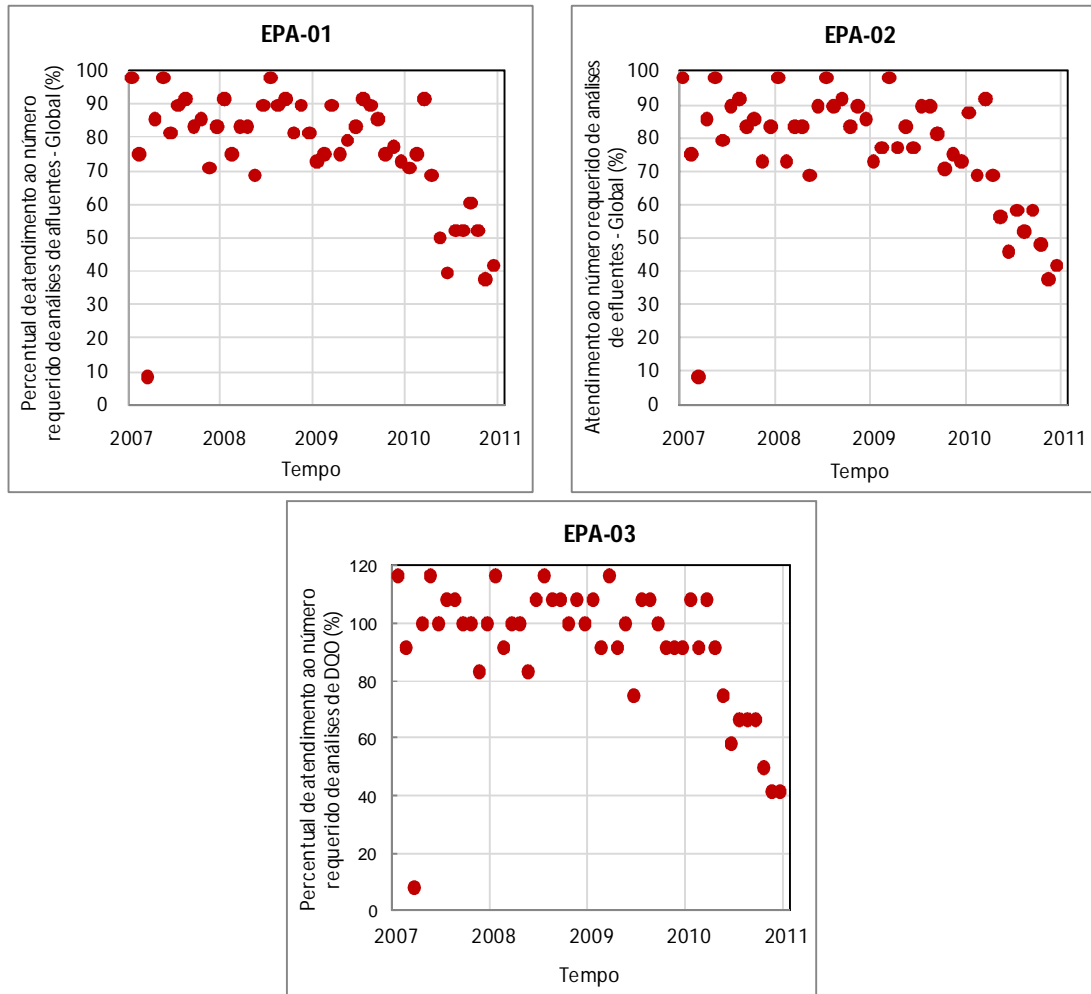


Figura 5.97 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério controle do monitoramento - ETE Brasília Norte.

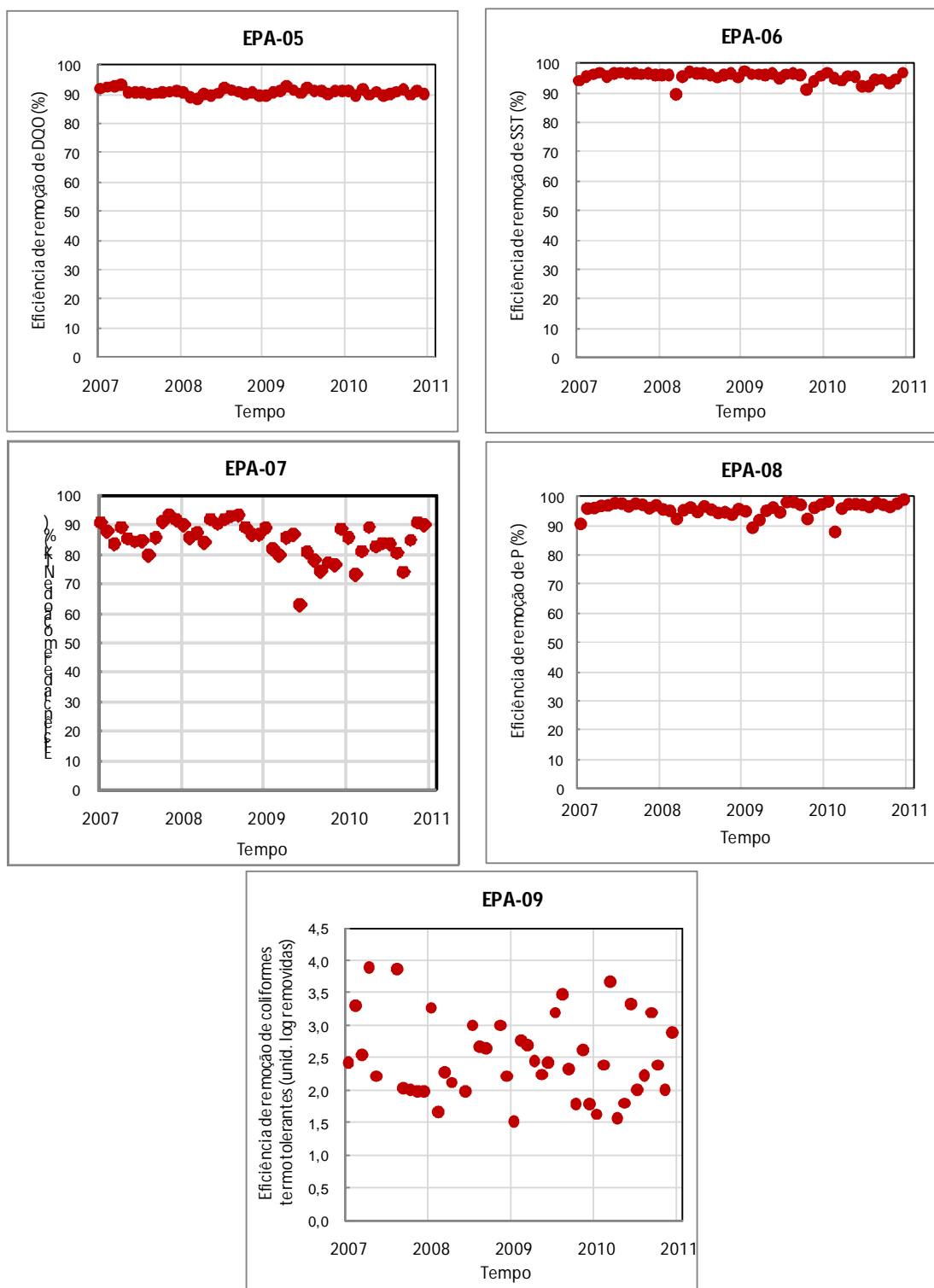


Figura 5.98 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério eficiência de remoção - ETE Brasília Norte.

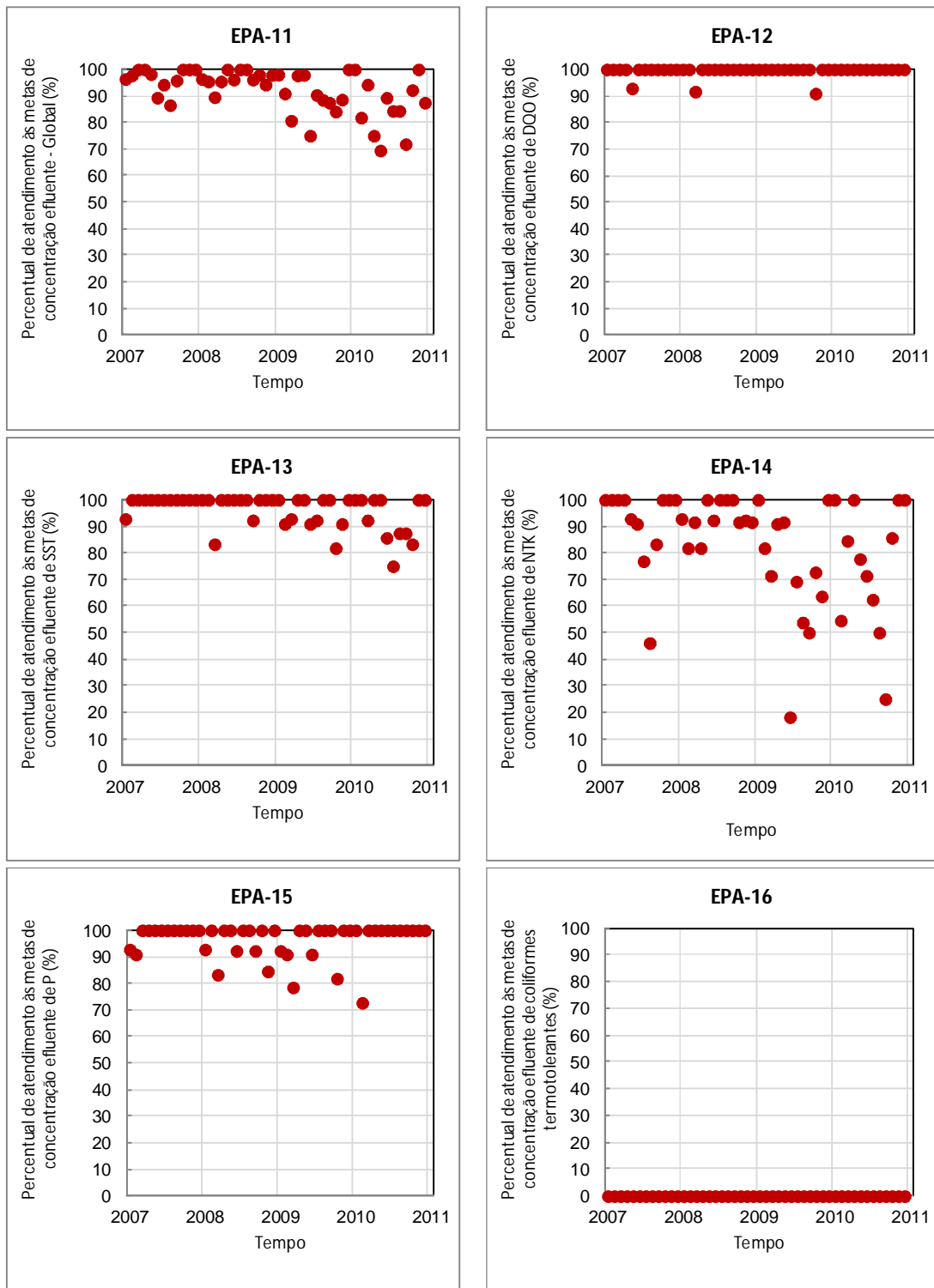


Figura 5.99 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (concentração efluente) - ETE Brasília Norte.

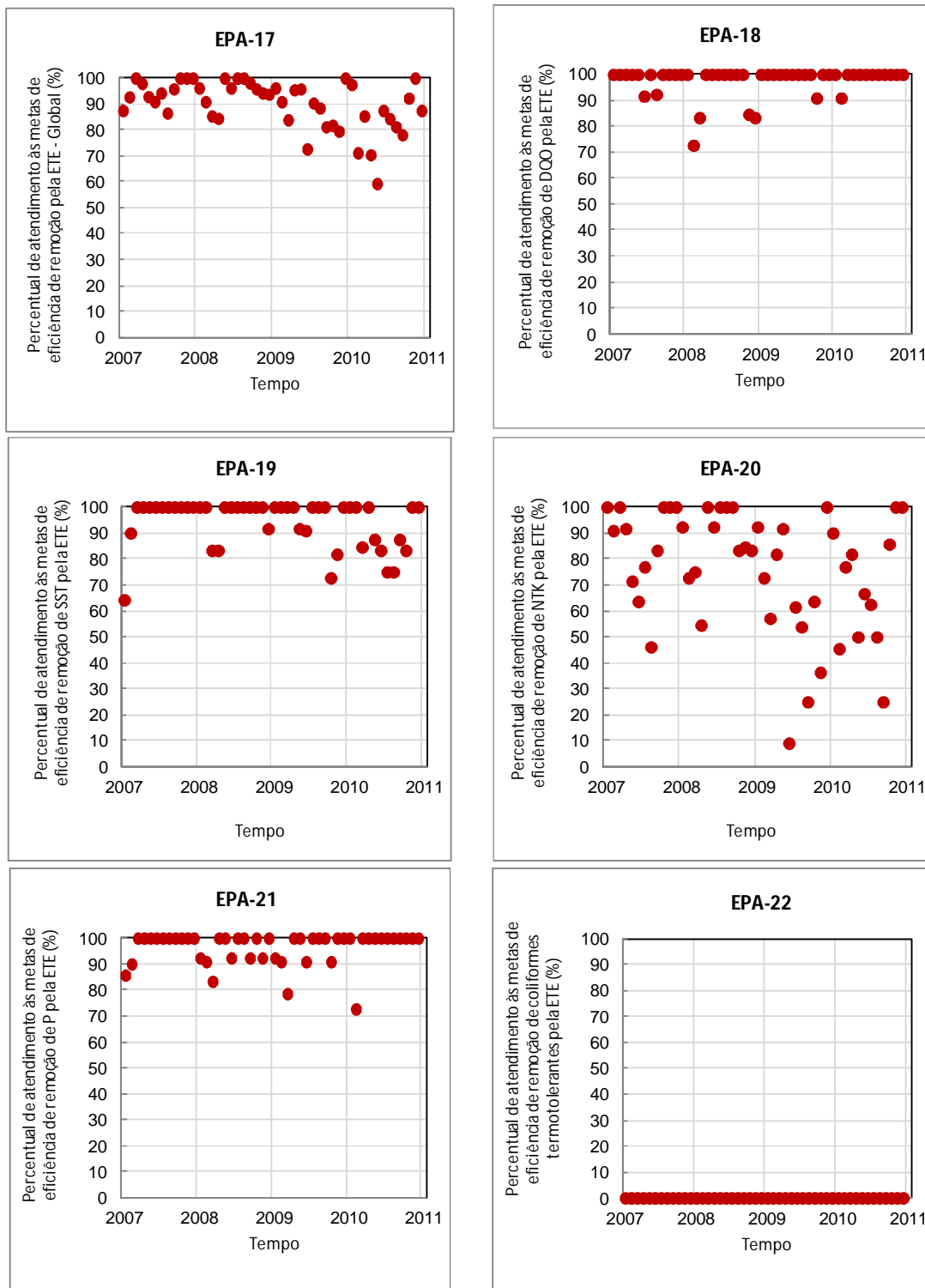


Figura 5.100 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (eficiência de remoção) - ETE Brasília Norte.

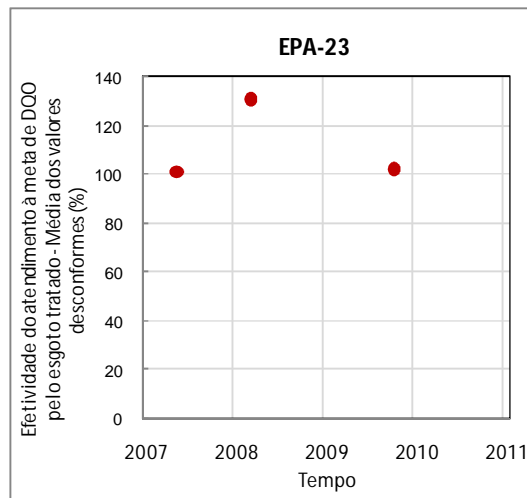


Figura 5.101– Série temporal do ID calculado do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (efetividade) - ETE Brasília Norte.

Os IDs constituintes do objetivo sustentabilidade ambiental, possíveis de serem calculados, são ESA-05 e ESA-06, ambos referentes aos critério eficiência no uso de recursos. Pela Figura 5.102, verifica-se uma tendência de aumento do seu resultado ao logo do tempo analisado, sendo que o valor mínimo, de 0,4606 kWh/m³ esgoto tratado, foi obtido em março de 2007 e o valor máximo, de 0,8034 kWh/m³ esgoto tratado, ocorreu em janeiro de 2010. Para ESA-06, observa-se que, até junho de 2008, grande parte dos resultados são inferiores a 0,15 L de sulfato de alumínio/ m³ esgoto tratado, ao passo que após a referida data, grande parte dos resultados encontram-se entre 0,15 e 0,25 L de sulfato de alumínio/ m³ esgoto tratado.

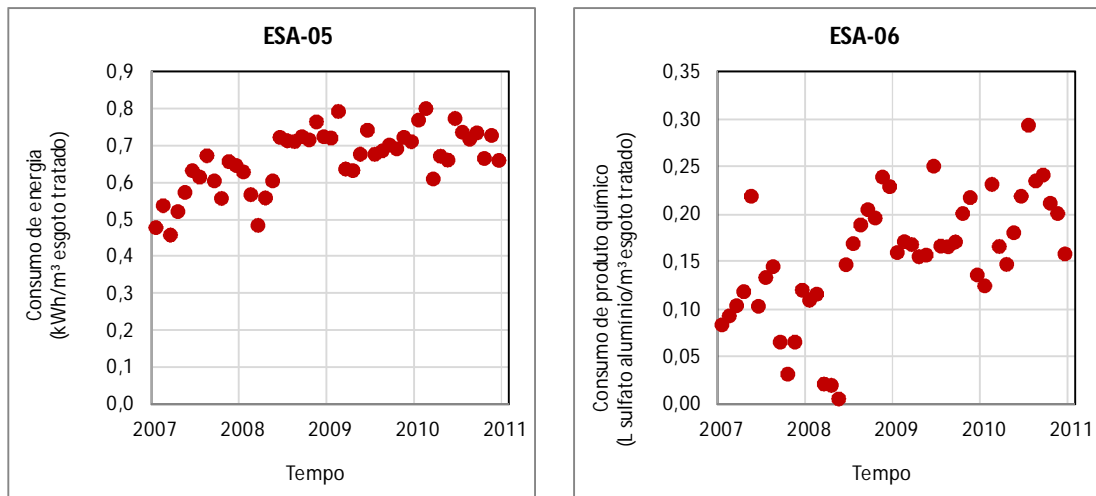


Figura 5.102 – Série temporal dos IDs calculado do objetivo sustentabilidade ambiental - ETE Brasília Norte.

Pela Figura 5.103, verifica-se que todos os resultados obtidos para o ESI-01 são inferiores a 64%, indicando a condição de funcionamento da ETE Brasília Norte, em termos de carga hidráulica, em condições de subcarga ao longo deste período. Além disso, nota-se uma tendência de redução do seu valor ao longo do tempo, sendo o menor percentual obtido em janeiro de 2010, sugerindo uma modesta diminuição da vazão efluente nessa ETE durante o período analisado.

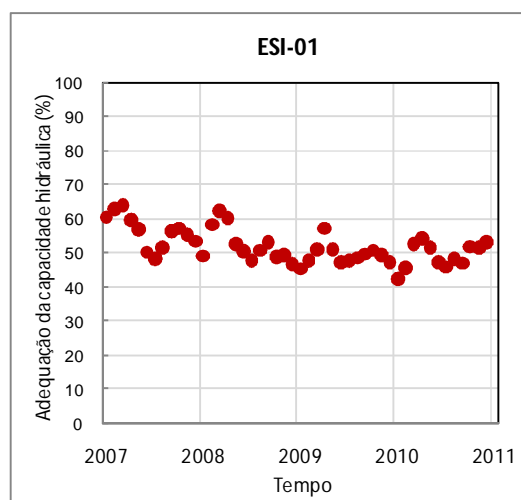


Figura 5.103 – Série temporal do ID calculado do objetivo sustentabilidade da infraestrutura - ETE Brasília Norte.

Os resultados obtidos para ESE-01 a ESE-04, apresentados na Figura 5.104, indicam, de modo geral, uma tendência de aumento dos custos da ETE Brasília Norte ao longo do tempo. Os valores obtidos pelo cálculo do ESE-01, referente ao custo total do tratamento de esgotos, variaram entre 0,72 e 1,43 R\$/m³ esgoto tratado, sendo a média e a mediana muito próximas, de 0,99 e 1,00 R\$/m³ esgoto tratado, respectivamente. Com relação aos custos discriminados, avaliados pelos demais IDs, seus resultados variam entre 0,06 e 0,41 R\$/m³ esgoto tratado, sendo o menor valor registrado para ESE-03 (produtos químicos) e o maior para ESE-04 (pessoal).

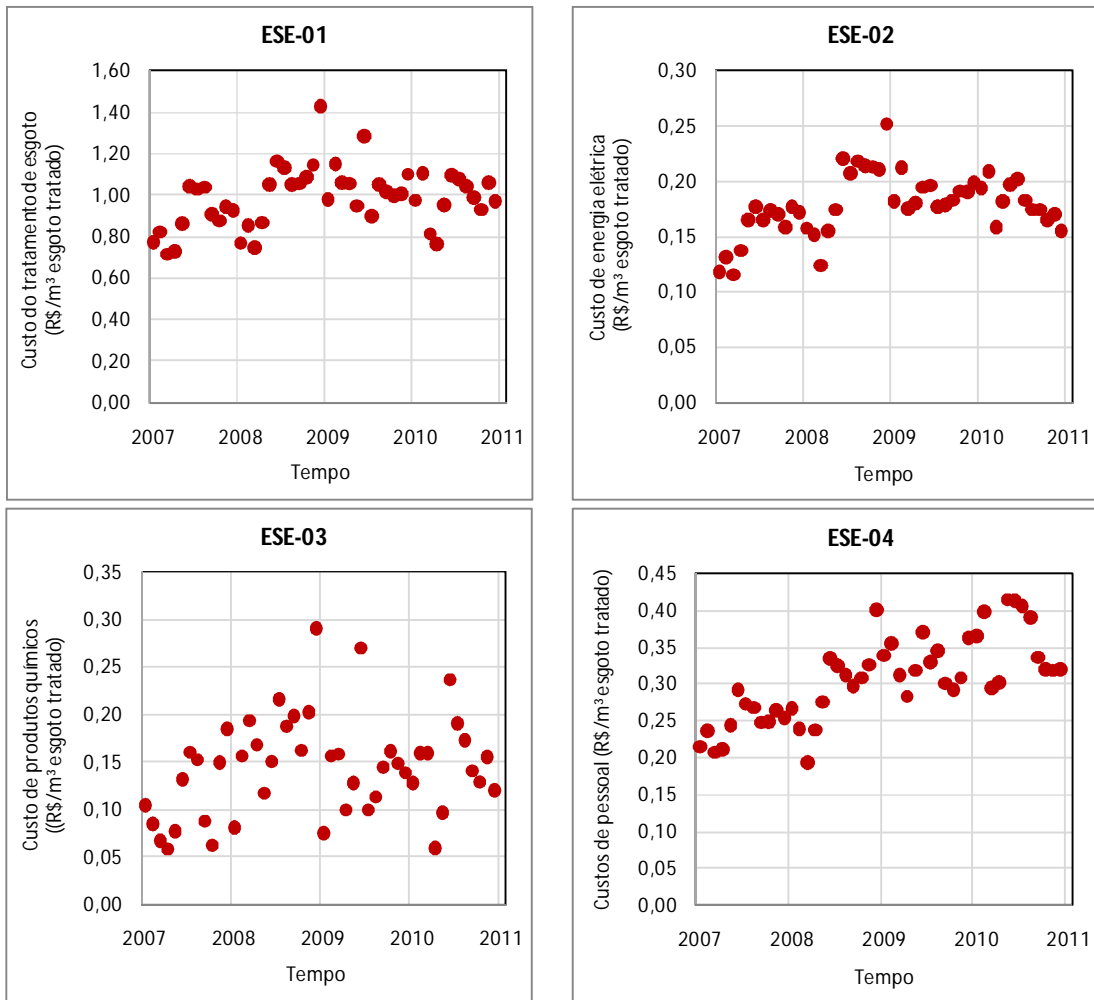


Figura 5.104 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade econômica - ETE Brasília Norte.

Tabela 5.47 – Estatística descritiva dos IDs da ETE Brasília Norte para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.

ID	Nome (simplificado)	Sentido de preferência	Estatística						
			Nº dados	Média	Mediana	Mín.	Máx.	CV (%)	Desv.Pad.
Proteção dos Corpos de Água									
EPA-01	Atendimento ao nº requerido de análises de afluentes – Global (%)	↑	48	76	81	8	98	19	18
EPA-02	Atendimento ao nº requerido de análises de efluentes - Global (%)	↑	48	76	82	8	98	19	18
EPA-03	Percentual de atendimento ao nº requerido de análises de DQO (%)	↑	48	92	100	8	117	19	23
EPA-05	Eficiência de remoção de DQO (%)	↑	48	91	91	89	93	1,1	1
EPA-06	Eficiência de remoção de SST (%)	↑	48	95	96	89	97	1,7	2
EPA-07	Eficiência de remoção de NTK (%)	↑	48	85	86	63	93	7,4	6
EPA-08	Eficiência de remoção de P (%)	↑	48	96	96	88	99	2,4	2
EPA-09	Eficiência de remoção de colif. termot. (unid. log removidas)	↑	44	2,5	2,4	1,5	3,9	25,3	0,6
EPA-11	Atendimento às metas de concentração efluente - Global (%)	↑	48	92	95	69	100	9	8
EPA-12	Atendimento às metas de concentração efluente de DQO (%)	↑	48	99	100	91	100	2	2
EPA-13	Atendimento às metas de concentração efluente de SST (%)	↑	48	96	100	75	100	7	6
EPA-14	Atendimento às metas de concentração efluente de NTK (%)	↑	48	83	92	18	100	25	21
EPA-15	Atendimento às metas de concentração efluente de P (%)	↑	48	97	100	73	100	7	7
EPA-16	Atendimento às metas de concentração efluente de colif. termot. (%)	↑	44	0	0	0	0	-	0
EPA-17	Atendimento às metas de eficiência de remoção - Global (%)	↑	48	90	92	59	100	10	9
EPA-18	Atendimento às metas de eficiência de remoção de DQO (%)	↑	48	98	100	73	100	6	6
EPA-19	Atendimento às metas de eficiência de remoção de SST (%)	↑	48	94	100	64	100	10	9
EPA-20	Atendimento às metas de eficiência de remoção de NTK (%)	↑	48	76	83	9	100	31	23
EPA-21	Atendimento às metas de eficiência de remoção de P (%)	↑	48	97	100	73	100	6	6
EPA-22	Atendimento às metas de eficiência de remoção de colif. termot. (%)	↑	44	0	0	0	0	-	0
EPA-23	Efetividade do atendimento à meta de DQO efluente (%)	↓	3	112	102	101	131	15	17
Sustentabilidade Ambiental									
ESA-05	Consumo de energia (kWh/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,67	0,68	0,46	0,80	13	0,08
ESA-06	Consumo produto químico (L sulf. alumínio/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,16	0,16	0,01	0,29	42	0,07
Sustentabilidade da Infraestrutura									
ESI-01	Adequação da capacidade hidráulica (%)	(*)	48	52	51	42	64	10	5
Sustentabilidade Econômica									
ESE-01	Custo do tratamento de esgoto (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,99	1,00	0,72	1,43	15	0,14
ESE-02	Custo de energia elétrica (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,18	0,18	0,12	0,25	15	0,03
ESE-03	Custo de produtos químicos ((R\$/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,14	0,15	0,06	0,29	36	0,05
ESE-04	Custos de pessoal (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,31	0,31	0,19	0,41	19	0,06

Legenda: ↑ Sentido crescente (maior melhor) / ↓ Sentido decrescente (menor melhor) / (*) Valor inferior a 100% indica subcarga e valor superior a 100% indica sobrecarga.

Tabela 5.48 – Percentis dos IDs da ETE Brasília Norte para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.

ID	Nome	Percentis				
		10%	25%	50%	75%	90%
Proteção dos Corpos de Água						
EPA-01	Atendimento ao número requerido de análises de afluentes - Global (%)	51	71	81	90	92
EPA-02	Atendimento ao número requerido de análises de efluentes - Global (%)	51	70	82	90	94
EPA-03	Atendimento ao número requerido de análises de DQO (%)	64	90	100	108	111
EPA-05	Eficiência de remoção de DQO (%)	89	90	91	91	92
EPA-06	Eficiência de remoção de SST (%)	94	95	96	96	97
EPA-07	Eficiência de remoção de NTK (%)	77	82	86	89	92
EPA-08	Eficiência de remoção de P (%)	93	95	96	97	98
EPA-09	Eficiência de remoção de coliformes termotolerantes (unid. log removidas)	1,8	2,0	2,4	2,9	3,3
EPA-11	Atendimento às metas de concentração efluente - Global (%)	81	88	95	98	100
EPA-12	Atendimento às metas de concentração efluente de DQO (%)	100	100	100	100	100
EPA-13	Atendimento às metas de concentração efluente de SST (%)	87	92	100	100	100
EPA-14	Atendimento às metas de concentração efluente de NTK (%)	53	72	92	100	100
EPA-15	Atendimento às metas de concentração efluente de P (%)	89	93	100	100	100
EPA-16	Atendimento às metas de concentração efluente de colif. termot. (%)	0	0	0	0	0
EPA-17	Atendimento às metas de eficiência de remoção pela ETE - Global (%)	79	85	92	96	100
EPA-18	Atendimento às metas de eficiência de remoção de DQO pela ETE (%)	91	100	100	100	100
EPA-19	Atendimento às metas de eficiência de remoção de SST pela ETE (%)	83	89	100	100	100
EPA-20	Atendimento às metas de eficiência de remoção de NTK pela ETE (%)	46	62	83	94	100
EPA-21	Atendimento às metas de eficiência de remoção de P pela ETE (%)	91	92	100	100	100
EPA-22	Atendimento às metas de eficiência de remoção de colif. termot. pela ETE (%)	0	0	0	0	0
EPA-23	Efetividade do atendimento à meta de DQO efluente - Média dos valores desconformes (%)	105	110	117	124	128
Sustentabilidade Ambiental						
ESA-05	Consumo de energia (kWh/m ³ esgoto tratado)	0,55	0,62	0,68	0,73	0,75
ESA-06	Consumo produto químico (L sulf. alumínio/m ³ esgoto tratado)	0,07	0,12	0,16	0,20	0,23
Sustentabilidade da Infraestrutura						
ESI-01	Adequação da capacidade hidráulica (%)	47	48	51	54	60
Sustentabilidade Econômica						
ESE-01	Custo do tratamento de esgoto (R\$/m ³ esgoto tratado)	0,7739	0,8944	1,0027	1,0607	1,1377
ESE-02	Custo de energia elétrica (R\$/m ³ esgoto tratado)	0,1477	0,1650	0,1770	0,1964	0,2130
ESE-03	Custo de produtos químicos ((R\$/m ³ esgoto tratado)	0,0767	0,1033	0,1488	0,1636	0,1998
ESE-04	Custos de pessoal (R\$/m ³ esgoto tratado)	0,2375	0,2659	0,3086	0,3368	0,3930

5.6.3.2 ETE Samambaia

Da Figura 5.105 a Figura 5.111 encontram-se as séries temporais dos IDs calculados para avaliação da ETE Samambaia. Em seguida, a Tabela 5.49 e a Tabela 5.50 apresentam respectivamente, a estatística dos resultados obtidos e a dispersão dos mesmos, por objetivo.

Da Figura 5.105 a Figura 5.108 apresentam-se os IDs referentes ao objetivo proteção dos corpos de água. Observa-se que os IDs, EPA-01, EPA-02 e EPA-03, associados ao critério controle do monitoramento, apresentaram uma grande variação ao longo dos 4 anos analisados, sem mostrar uma tendência. O valor máximo obtido para os três IDs foi de 83%, indicando que na ETE Samambaia o número máximo de análises realizadas em um mesmo mês foi de 10, uma vez que se está considerando como meta a realização de 12 análises por mês. A média dos resultados foi de 41% para EPA-01 e EPA-02 e de 47% para EPA-03, representando menos da metade da quantidade de análises desejada.

Com relação aos resultados obtidos para os IDs referentes ao critério eficiência de remoção, nota-se que variaram, de modo geral, entre o intervalo de 75% e 100%, considerando os IDs os valores de EPA-05 a EPA-08 referentes aos parâmetros DQO, SST e P total. Vale ressaltar que os dois primeiros parâmetros são considerados para a classe do Prodes em que se enquadra a ETE Samambaia, enquanto o P total foi considerado por haver uma etapa de remoção do mesmo na referida ETE. Foram obtidas médias elevadas para os três IDs, que variaram entre 92% e 95%. Já para EPA-09, referente ao parâmetro coliformes termotolerantes, a média obtida foi de 5,9 unidades log removidas.

Dentre os IDs de avaliação do atendimento às metas de concentração do efluente (EPA-11 a EPA-16), verifica-se que todas as médias foram superiores a 92%, enquanto todas as medianas foram iguais a 100%, o que evidencia a elevada ocorrência do atendimento integral das metas, principalmente para o EPA-12, referente ao parâmetro DQO. O mesmo se deu para as medianas dos IDs referentes ao atendimento às metas de eficiências de remoção (EPA-17 a EPA-22), com exceção apenas do EPA-17, para o qual a mediana foi de 97%, igualmente elevado.

Não foi possível calcular o ID EPA-23 para nenhum dos meses analisados, já que seu cálculo depende das ocorrências de médias mensais superiores à meta de concentração de DQO, fato que não ocorreu no período analisado.

De modo geral, nota-se que os resultados obtidos para o objetivo proteção dos corpos de água são satisfatórios para os parâmetros analisados. Vale ressaltar apenas que o número de análises realizadas encontra-se cerca de 50% inferior ao adotado como desejado inicialmente no presente estudo (12 análises por mês).

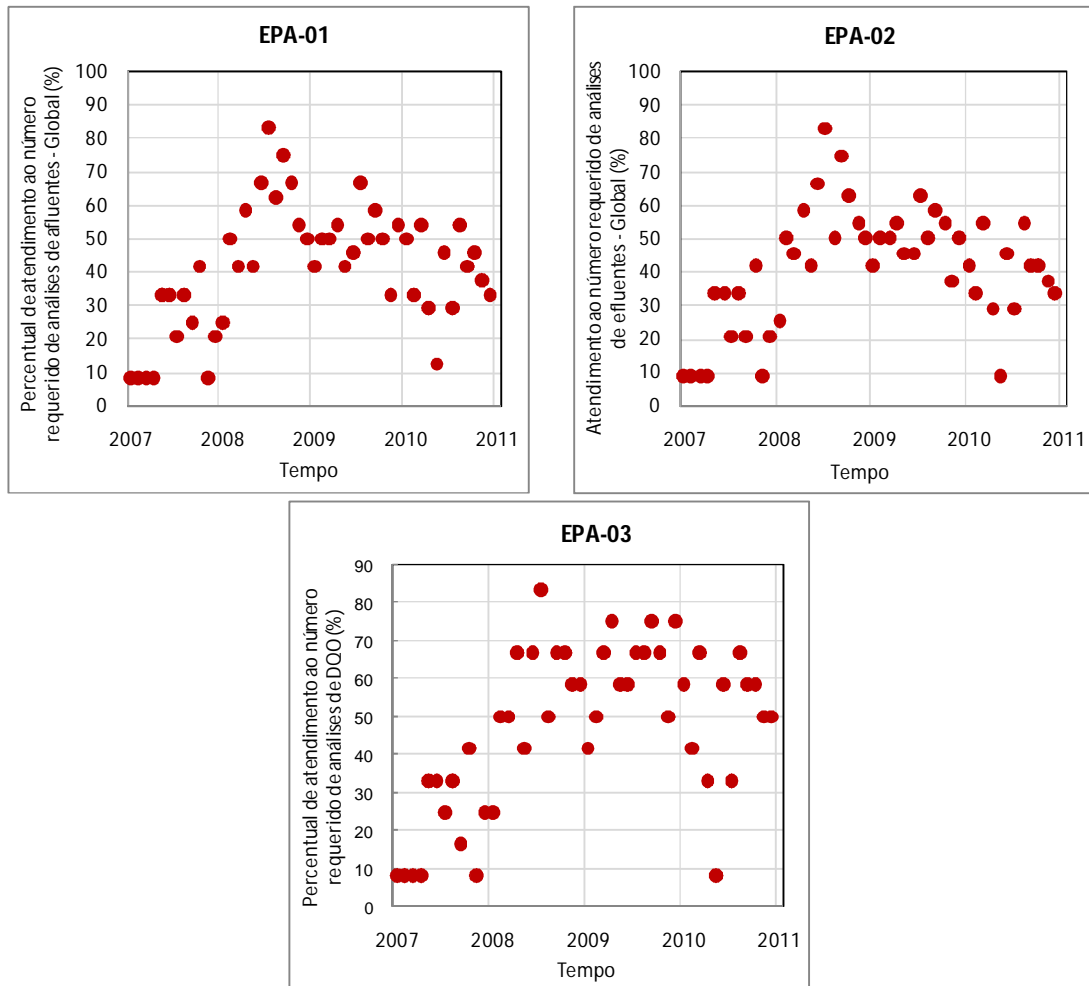


Figura 5.105 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério controle do monitoramento - ETE Samambaia.

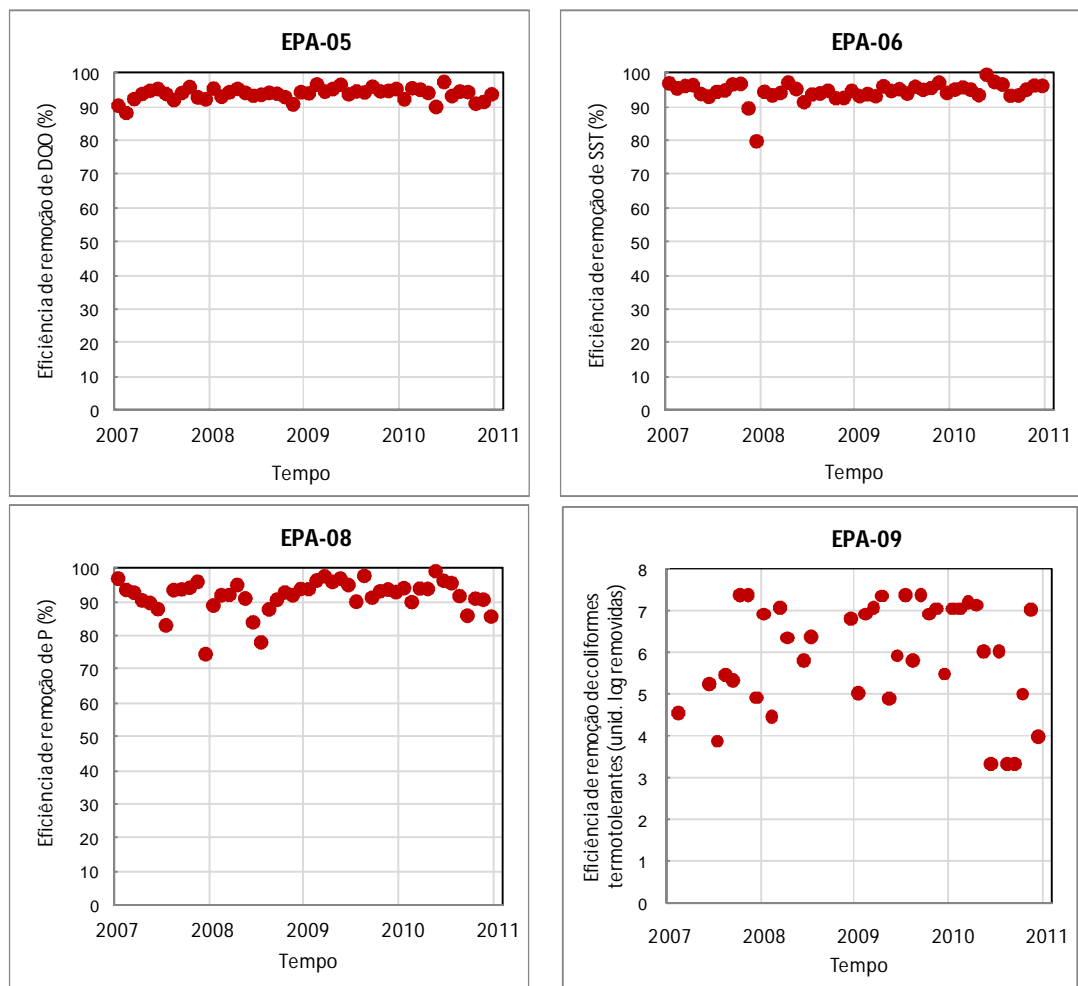


Figura 5.106 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério eficiência de remoção - ETE Samambaia.

aumento dos resultados ao longo de 2009 e 2010. O valor mínimo foi de 0,005 kWh/m³ esgoto tratado, obtido em outubro de 2009 e o valor máximo, de 0,1064 kWh/m³ esgoto tratado, ocorreu em abril de 2010. Já para ESA-06, nota-se uma tendência de aumento do consumo de cloreto férrico ao longo de todo o período analisado, apesar do menor valor ter ocorrido no último consumo de 2010, em setembro, sendo 0,16 L cloreto férrico /m³ de esgoto tratado.

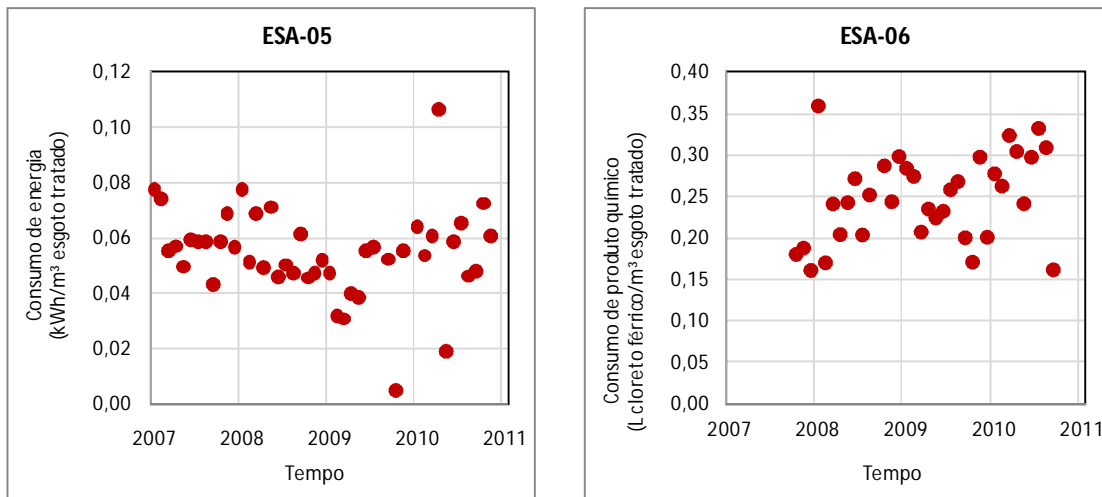


Figura 5.109 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade ambiental - ETE Samambaia.

Pela Figura 5.110, verifica-se que todos os resultados obtidos para o ESI-01 são inferiores a 39%, sugerindo a condição de funcionamento da ETE Samambaia, em termos de carga hidráulica, em condições de subcarga ao longo deste período.

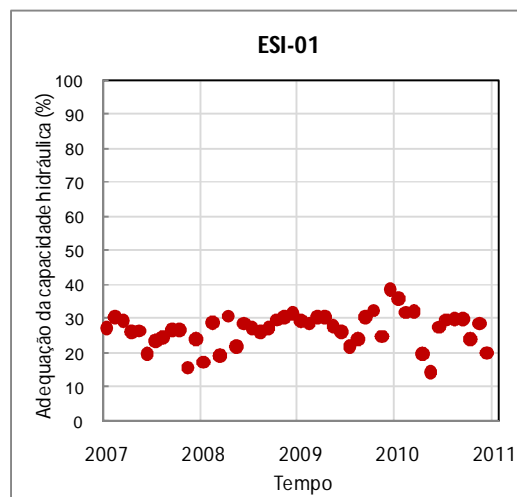


Figura 5.110 – Série temporal do ID calculado do objetivo sustentabilidade da infraestrutura - ETE Samambaia.

Os resultados obtidos para ESE-01 a ESE-04 são apresentados na Figura 5.111. Não é possível identificar uma tendência dos custos da ETE Samambaia ao longo do tempo. Os valores obtidos pelo cálculo do ESE-01, referente ao custo total do tratamento de esgotos, variaram entre 0,29 e 0,90 R\$/m³ esgoto tratado, sendo a média e a mediana muito próximas, de 0,57 e 0,53 R\$/m³ esgoto tratado respectivamente. Com relação aos custos discriminados, avaliados pelos demais IDs, seus resultados variaram entre 0,06 e 0,46 R\$/m³ esgoto tratado, sendo o menor valor registrado para ESE-02 e o maior para ESE-04.

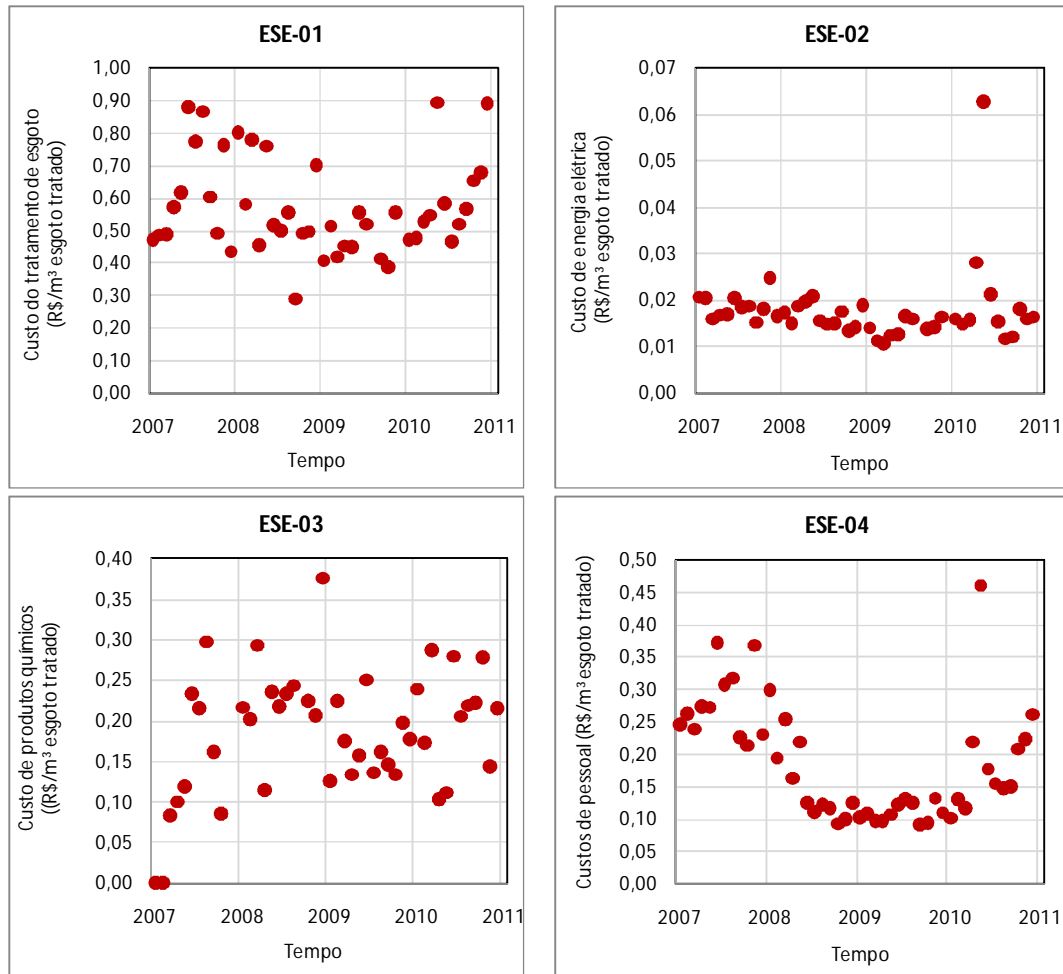


Figura 5.111 – Série temporal do ID calculado do objetivo sustentabilidade econômica - ETE Samambaia.

Tabela 5.49 – Estatística descritiva dos IDs da ETE Samambaia para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.

ID	Nome	Sentido de preferência	Estatística						
			Nº dados	Média	Mediana	Mín.	Máx.	CV (%)	Desv.Pad.
Proteção dos Corpos de Água									
EPA-01	Atendimento ao nº requerido de análises de afluentes - Global (%)	↑	48	41	42	8	83	22	18
EPA-02	Atendimento ao nº requerido de análises de efluentes - Global (%)	↑	48	41	42	8	83	22	18
EPA-03	Atendimento ao nº requerido de análises de DQO (%)	↑	48	47	50	8	83	25	21
EPA-05	Eficiência de remoção de DQO (%)	↑	48	94	94	88	98	1,9	2
EPA-06	Eficiência de remoção de SST (%)	↑	48	95	95	80	100	2,9	3
EPA-08	Eficiência de remoção de P (%)	↑	48	92	93	75	99	5,2	5
EPA-09	Eficiência de remoção de colif. termot. (unid. log removidas)	↑	39	5,9	6,0	3,3	7,4	21,7	1,3
EPA-11	Atendimento às metas de concentração efluente - Global (%)	↑	48	97	100	67	100	6	6
EPA-12	Atendimento às metas de concentração efluente de DQO (%)	↑	48	100	100	100	100	0	0
EPA-13	Atendimento às metas de concentração efluente de SST (%)	↑	48	96	100	33	100	11	11
EPA-15	Atendimento às metas de concentração efluente de P (%)	↑	48	93	100	20	100	16	15
EPA-16	Atendimento às metas de concentração efluente de colif. termot. (%)	↑	39	92	100	0	100	-	27
EPA-17	Atendimento às metas de eficiência de remoção - Global (%)	↑	48	92	97	50	100	12	11
EPA-18	Atendimento às metas de eficiência de remoção de DQO (%)	↑	48	95	100	50	100	11	11
EPA-19	Atendimento às metas de eficiência de remoção de SST (%)	↑	48	87	100	0	100	23	20
EPA-21	Atendimento às metas de eficiência de remoção de P (%)	↑	48	89	100	20	100	20	18
EPA-22	Atendimento às metas de eficiência de remoção de colif. termot. (%)	↑	39	90	100	0	100	34	31
EPA-23	Efetividade do atendimento à meta de DQO efluente (%)	↓	0	-	-	-	-	-	-
Sustentabilidade Ambiental									
ESA-05	Consumo de energia (kWh/m³ esgoto tratado)	↓	45	0,05	0,06	0,005	0,11	30	0,02
ESA-06	Consumo de produto químico (L cloreto férrico/m³ esgoto tratado)	↓	35	0,25	0,24	0,16	0,36	21	0,05
Sustentabilidade da Infraestrutura									
ESI-01	Adequação da capacidade hidráulica (%)	(*)	48	27	27	14	39	19	5
Sustentabilidade Econômica									
ESE-01	Custo do tratamento de esgoto (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	46	0,57	0,53	0,29	0,90	26	0,15
ESE-02	Custo de energia elétrica (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	46	0,02	0,02	0,01	0,06	43	0,007
ESE-03	Custo de produtos químicos ((R\$/m³ esgoto tratado)	↓	45	0,19	0,20	0,0002	0,38	41	0,08
ESE-04	Custos de pessoal (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,19	0,15	0,09	0,46	47	0,09

Legenda: ↑ Sentido crescente (maior melhor) / ↓ Sentido decrescente (menor melhor) / (*) Valor inferior a 100% indica subcarga e valor superior a 100% indica sobrecarga.

Tabela 5.50 – Percentis dos IDs da ETE Samambaia para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.

ID	Nome	Percentis				
		10%	25%	50%	75%	90%
Proteção dos Corpos de Água						
EPA-01	Atendimento ao número requerido de análises de afluentes - Global (%)	11	32	42	54	64
EPA-02	Atendimento ao número requerido de análises de efluentes - Global (%)	8	32	42	51	60
EPA-03	Atendimento ao número requerido de análises de DQO (%)	8	33	50	67	67
EPA-05	Eficiência de remoção de DQO (%)	91	93	94	95	96
EPA-06	Eficiência de remoção de SST (%)	93	94	95	96	97
EPA-08	Eficiência de remoção de P (%)	86	91	93	95	97
EPA-09	Eficiência de remoção de coliformes termotolerantes (unid. log removidas)	4,0	5,0	6,0	7,1	7,4
EPA-11	Atendimento às metas de concentração efluente - Global (%)	92	100	100	100	100
EPA-12	Atendimento às metas de concentração efluente de DQO (%)	100	100	100	100	100
EPA-13	Atendimento às metas de concentração efluente de SST (%)	86	100	100	100	100
EPA-15	Atendimento às metas de concentração efluente de P (%)	73	100	100	100	100
EPA-16	Atendimento às metas de concentração efluente de coliformes termotolerantes (%)	100	100	100	100	100
EPA-17	Atendimento às metas de eficiência de remoção pela ETE - Global (%)	81	89	97	100	100
EPA-18	Atendimento às metas de eficiência de remoção de DQO pela ETE (%)	81	100	100	100	100
EPA-19	Atendimento às metas de eficiência de remoção de SST pela ETE (%)	70	80	100	100	100
EPA-21	Atendimento às metas de eficiência de remoção de P pela ETE (%)	67	80	100	100	100
EPA-22	Atendimento às metas de eficiência de remoção de coliformes termotolerantes pela ETE (%)	80	100	100	100	100
EPA-23	Efetividade do atendimento à meta de DQO efluente - Média dos valores desconformes (%)	-	-	-	-	-
Sustentabilidade Ambiental						
ESA-05	Consumo de energia (kWh/m ³ esgoto tratado)	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07
ESA-06	Consumo de produto químico (L cloreto férrico /m ³ esgoto tratado)	0,18	0,21	0,25	0,29	0,31
Sustentabilidade da Infraestrutura						
ESI-01	Adequação da capacidade hidráulica (%)	20	24	27	30	31
Sustentabilidade Econômica						
ESE-01	Custo do tratamento de esgoto (R\$/m ³ esgoto tratado)	0,43	0,47	0,53	0,65	0,79
ESE-02	Custo de energia elétrica (R\$/m ³ esgoto tratado)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
ESE-03	Custo de produtos químicos ((R\$/m ³ esgoto tratado)	0,10	0,13	0,20	0,23	0,28
ESE-04	Custos de pessoal (R\$/m ³ esgoto tratado)	0,10	0,12	0,15	0,24	0,30

5.6.3.3 ETE São Sebastião

Da Figura 5.112 à Figura 5.119 encontram-se séries temporais dos IDs calculados para avaliação da ETE São Sebastião. Em seguida, a Tabela 5.51 e a Tabela 5.52 apresentam, respectivamente, uma estatística dos resultados obtidos e a dispersão dos mesmos, por objetivo.

No âmbito do objetivo proteção dos corpos de água (Figura 5.112 a Figura 5.116), nota-se que os IDs associados ao critério controle do monitoramento, EPA-01, EPA-02 e EPA-03, apresentaram uma grande variação ao longo dos 4 anos analisados, sem mostrar uma tendência. O valor máximo obtido para os três IDs foi de 50%, indicando que, na ETE São Sebastião, o número máximo de análises realizadas em um mesmo mês foi 6, uma vez que se está considerando como meta a realização de 12 análises por mês. A média dos resultados foi de 33%, 31% e 34% para EPA-01, EPA-02 e EPA-03, respectivamente.

Com relação aos resultados obtidos para os IDs referentes ao critério eficiência de remoção, nota-se que variaram, de modo geral, entre o intervalo de 67% e 96% considerando o EPA-05 e o EPA-06. As médias e medianas de ambos os IDs ficaram em torno de 85%. Para EPA-09, referente ao parâmetro coliformes termotolerantes, os resultados variaram entre 1,5 e 5,0 unidades log removidas.

Dentre os IDs de avaliação do atendimento às metas de concentração do efluente, para os IDs EPA-11 a EPA-13, verifica-se que todas as médias foram superiores a 91%, enquanto todas as medianas foram iguais a 100%, o que evidencia a elevada ocorrência do atendimento integral das metas determinadas para os parâmetros adotados pela classe do Prodes (DBO e SST) e DQO. Já com relação ao ID EPA-16, referente ao parâmetro coliformes termotolerantes, a média e a mediana obtidas foram de 13% e 0%, o que se deve ao elevado número de meses em que o percentual de atendimento à meta foi nulo. Com relação aos IDs de atendimento às metas de eficiências de remoção (EPA-17 a EPA-22), os resultados foram elevados para EPA-17 e EPA-19, que obtiveram médias superiores a 90%. Já EPA-18 e EPA-22 obtiveram médias de 61% e 24%, respectivamente. Vale ressaltar que grande parte dos resultados de EPA-22 (coliformes termotolerantes) corresponde a 0%.

Foram observados 13 meses com concentrações médias de DQO superiores à meta, o que possibilitou o cálculo do ID EPA-23. Nota-se que o cálculo deste ID acontece em quatro

meses do ano de 2007 e em uma frequência de três meses por ano em 2008, 2009 e 2010. Além disso, observa-se uma tendência de ocorrência em meses chuvosos (9 dos 13 meses). Os valores obtidos variaram entre 103 e 145%, ou seja, a média mensal mais elevada corresponde a 145% do valor da meta determinada, 125 mg/L.

De modo geral, nota-se que os resultados obtidos para o objetivo proteção dos corpos de água são medianos com relação ao controle do monitoramento. Com relação ao atendimento às metas de concentração do efluente e eficiência de remoção, os IDs indicam serem necessários ajustes pontuais para se obter um melhor desempenho na remoção de DQO e coliformes termotolerantes.

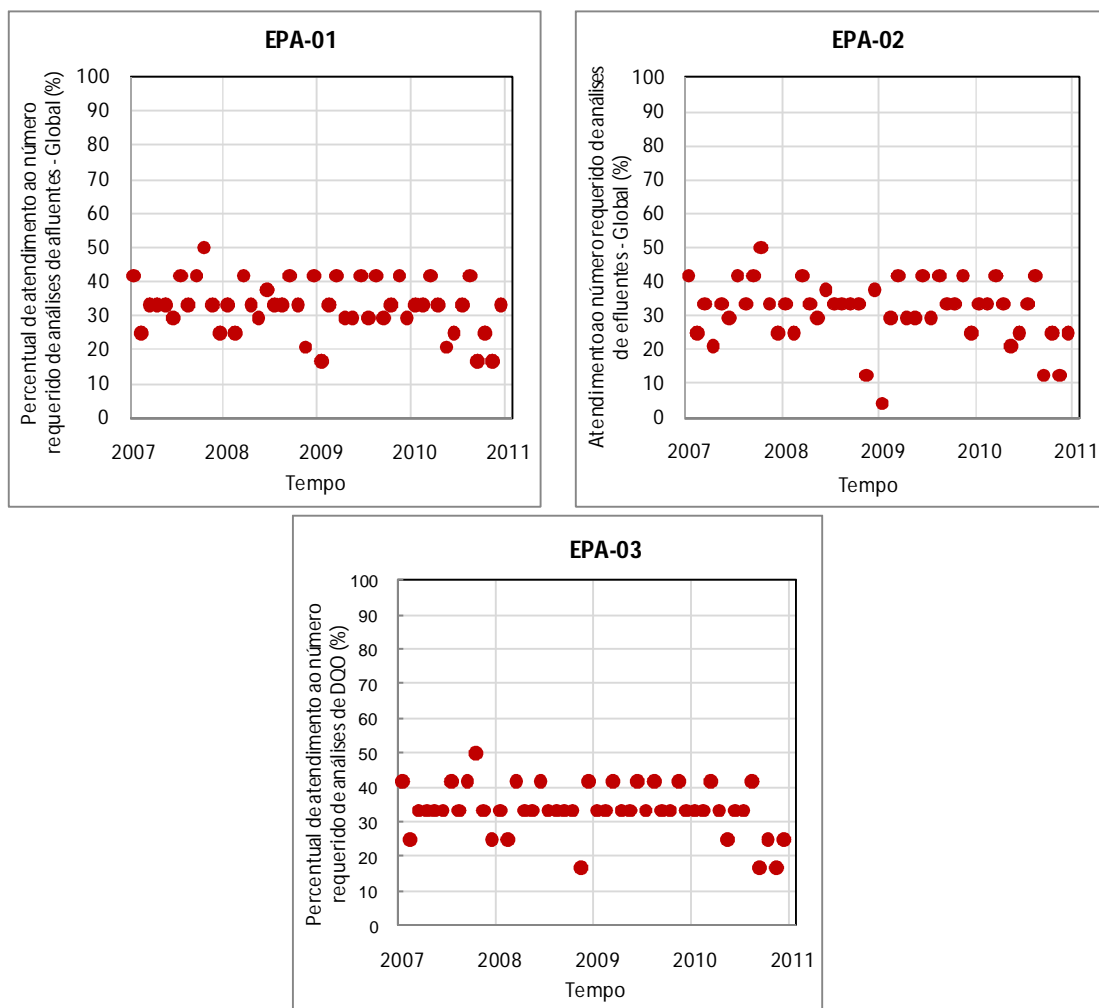


Figura 5.112 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério controle do monitoramento - ETE São Sebastião.

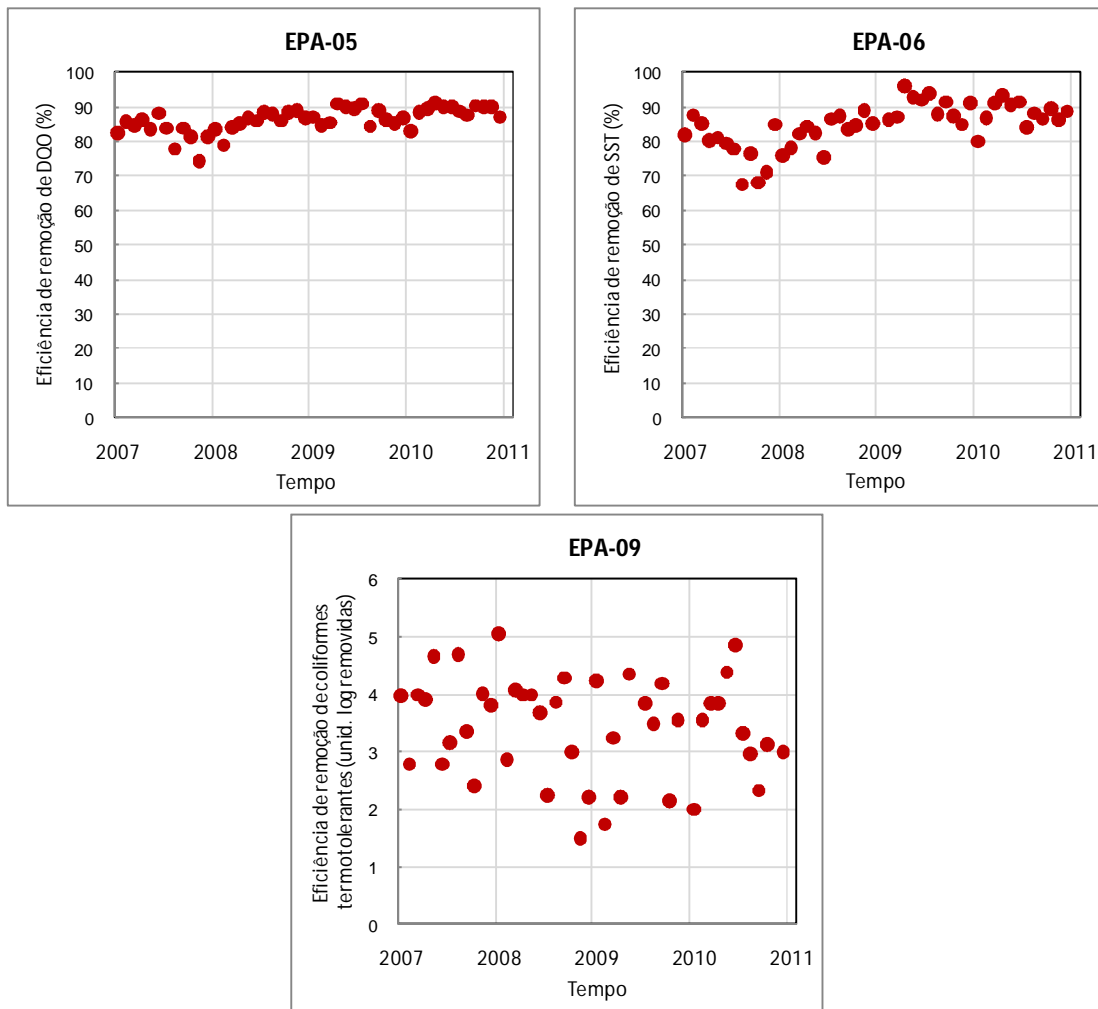


Figura 5.113 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério eficiência de remoção - ETE São Sebastião.

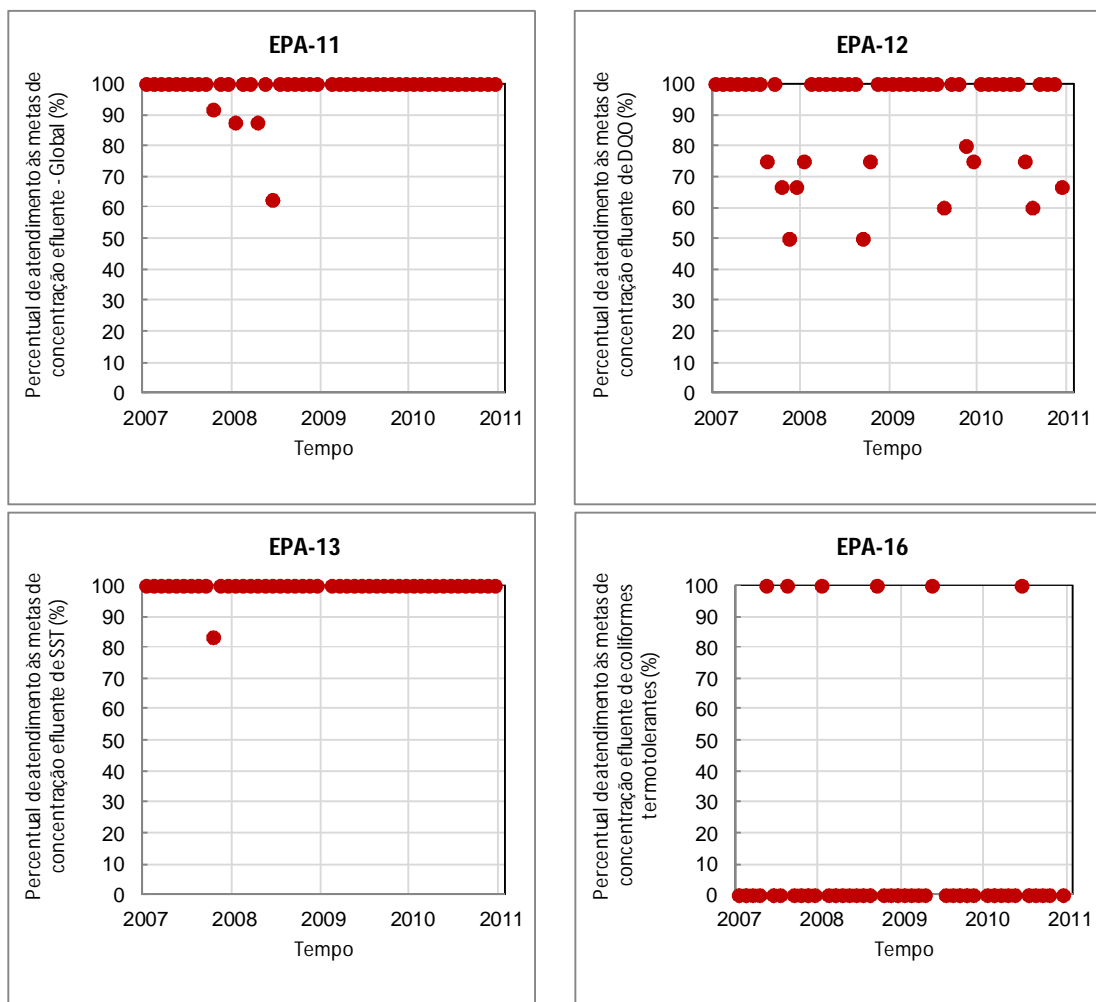


Figura 5.114 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (concentrações efluentes) - ETE São Sebastião.

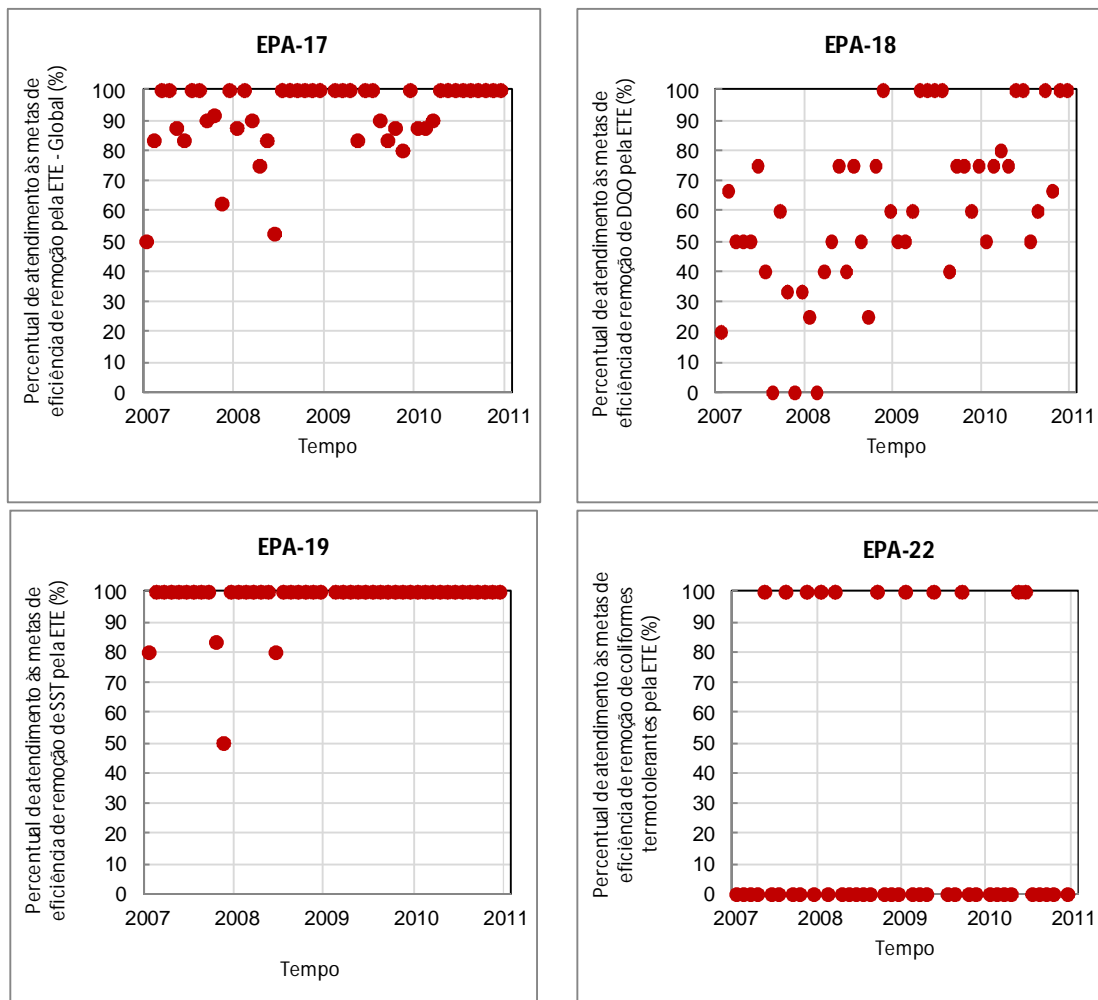


Figura 5.115 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (eficiências de remoção) - ETE São Sebastião.

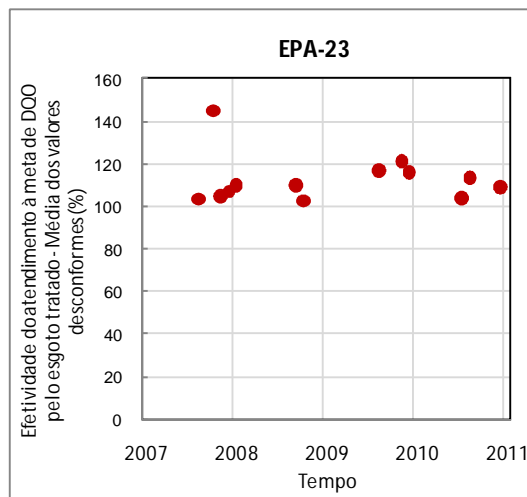


Figura 5.116 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo proteção dos corpos de água, critério metas de lançamento (efetividade) - ETE São Sebastião.

Os IDs constituintes do objetivo sustentabilidade ambiental, possíveis de serem calculados, são ESA-05 e ESA-06, que avaliam o critério eficiência no uso de recursos. Pela Figura 5.117, verifica-se uma tendência dos resultados do ESA-05 permanecerem em torno de 0,020 kWh/m³ esgoto tratado, o que é confirmado pela média e mediana dos resultados. Enquanto os resultados do ESA-06 se mantêm, grande parte, entre 0,0005 e 0,0010 kg de cal/ m³ esgoto tratado.

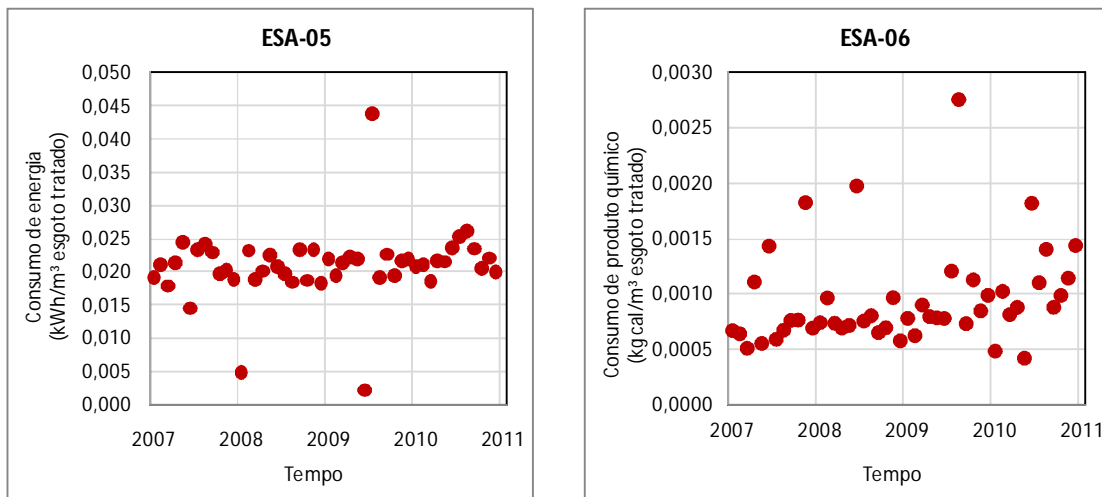


Figura 5.117 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade ambiental - ETE São Sebastião.

Pela Figura 5.118 verifica-se que todos os resultados obtidos para o ESI-01 são inferiores a 15%, sugerindo a condição de funcionamento da ETE São Sebastião, em termos de carga hidráulica, em condições de subcarga representativa ao longo deste período.

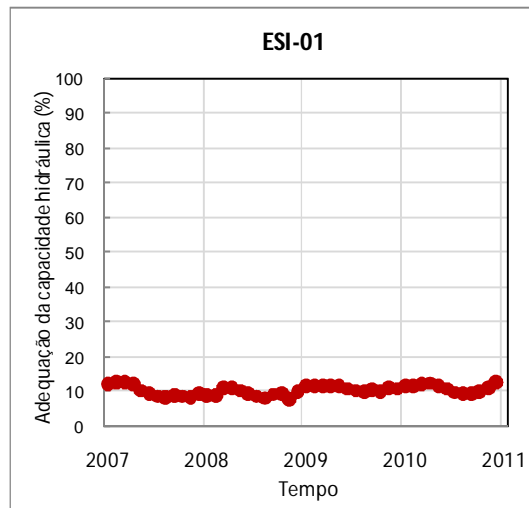


Figura 5.118 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade da infraestrutura - ETE São Sebastião.

Os resultados obtidos para ESE-01 a ESE-04, apresentados na Figura 5.119, indicam, de modo geral, uma tendência de aumento dos custos do esgoto tratado e de pessoal da ETE São Sebastião ao longo do tempo, enquanto que para os custos de energia e produto químico não se observa uma tendência. Os valores obtidos pelo cálculo do ESE-01, referente ao custo total do tratamento de esgotos, variaram entre 0,43 e 0,92 R\$/m³ esgoto tratado, sendo a média e a mediana muito próximas, de 0,67 e 0,69 R\$/m³ esgoto tratado respectivamente. Com relação aos custos discriminados, avaliados pelos demais IDs, seus resultados variaram entre 0,0001 e 0,31 R\$/m³ esgoto tratado, sendo o menor valor registrado para ESE-03 e o maior para ESE-04.

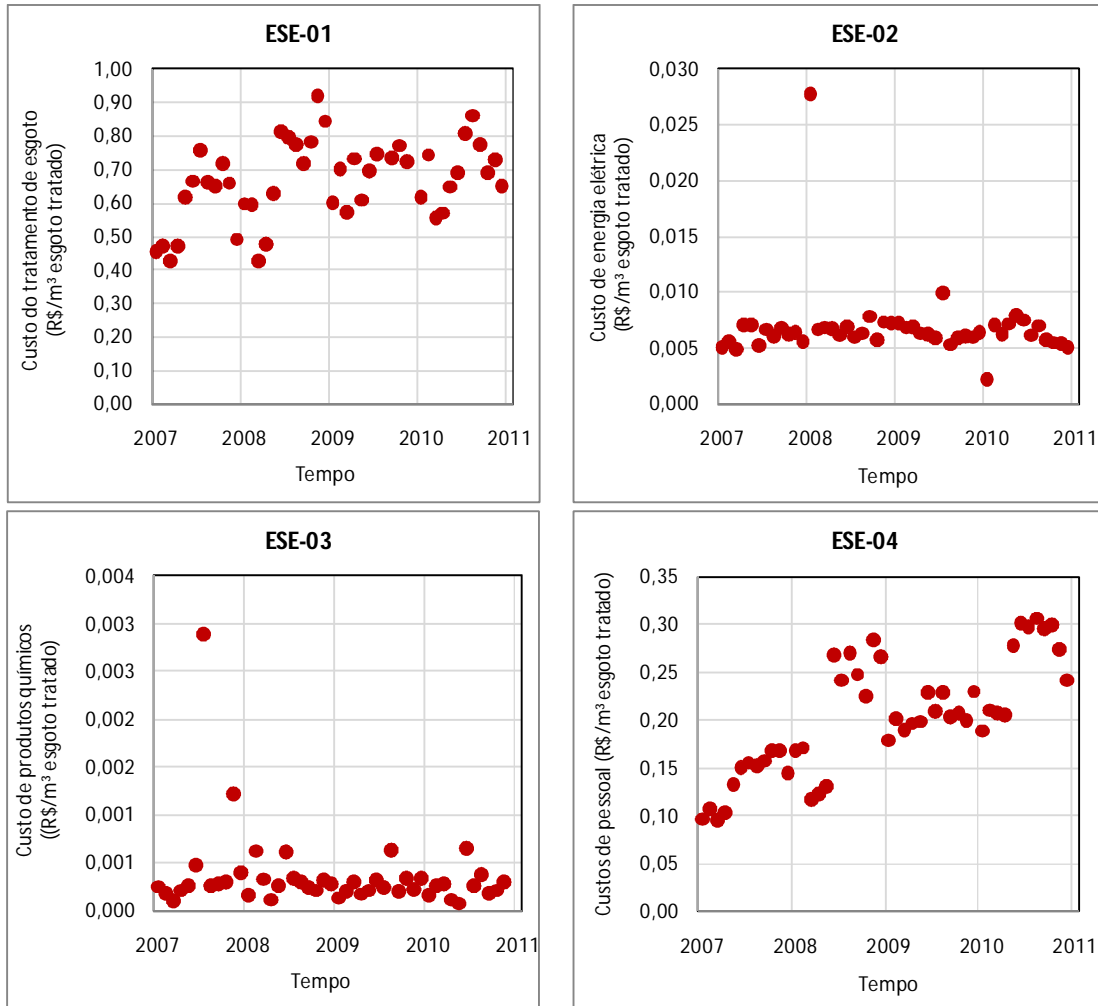


Figura 5.119 – Séries temporais dos IDs calculados do objetivo sustentabilidade da econômica - ETE São Sebastião.

Tabela 5.51 – Estatística descritiva dos IDs da ETE São Sebastião para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.

ID	Nome	Sentido de preferência	Estatística						
			Nº dados	Média	Mediana	Mín.	Máx.	CV (%)	Desv.Pad.
Proteção dos Corpos de Água									
EPA-01	Atendimento ao nº requerido de análises de afluentes – Global (%)	↑	48	33	33	17	50	15	8
EPA-02	Atendimento ao nº requerido de análises de efluentes - Global (%)	↑	48	31	33	4	50	18	9
EPA-03	Atendimento ao nº requerido de análises de DQO (%)	↑	48	34	33	17	50	14	7
EPA-05	Eficiência de remoção de DQO (%)	↑	48	86	87	74	91	4,2	4
EPA-06	Eficiência de remoção de SST (%)	↑	47	85	86	67	96	7,6	6
EPA-09	Eficiência de remoção de colif. termot. (unid. log removidas)	↑	45	3,4	3,6	1,5	5,0	25	0,9
EPA-11	Atendimento às metas de concentração efluente - Global (%)	↑	48	97	100	50	100	9	9
EPA-12	Atendimento às metas de concentração efluente de DQO (%)	↑	48	91	100	50	100	17	16
EPA-13	Atendimento às metas de concentração efluente de SST (%)	↑	47	100	100	83	100	2	2
EPA-16	Atendimento às metas de concentração efluente de colif. termot. (%)	↑	45	13	0	0	100	-	34
EPA-17	Atendimento às metas de eficiência de remoção - Global (%)	↑	48	91	100	50	100	15	14
EPA-18	Atendimento às metas de eficiência de remoção de DQO (%)	↑	48	61	60	0	100	46	28
EPA-19	Atendimento às metas de eficiência de remoção de SST (%)	↑	47	98	100	50	100	9	9
EPA-22	Atendimento às metas de eficiência de remoção de colif. termot. (%)	↑	45	24	0	0	100	-	43
EPA-23	Efetividade do atendimento à meta de DQO efluente (%)	↓	13	112	110	103	145	10	11
Sustentabilidade Ambiental									
ESA-05	Consumo de energia (kWh/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,02	0,02	0,002	0,040	26	0,01
ESA-06	Consumo de produto químico (kg cal/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,0009	0,0008	0,0004	0,0028	46	0,0004
Sustentabilidade da Infraestrutura									
ESI-01	Adequação da capacidade hidráulica (%)	(*)	48	10	10	8	13	13	1
Sustentabilidade Econômica									
ESE-01	Custo do tratamento de esgoto (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,67	0,69	0,43	0,92	18	0,12
ESE-02	Custo de energia elétrica (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	47	0,007	0,0063	0,002	0,03	48	0,003
ESE-03	Custo de produtos químicos ((R\$/m³ esgoto tratado)	↓	44	0,0003	0,0003	0,0001	0,003	123	0,0004
ESE-04	Custos de pessoal (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	48	0,20	0,20	0,10	0,31	30	0,06

Legenda: ↑ Sentido crescente (maior melhor) / ↓ Sentido decrescente (menor melhor) / (*) Valor inferior a 100% indica subcarga e valor superior a 100% indica sobrecarga.

Tabela 5.52 – Percentis dos IDs da ETE São Sebastião para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010.

ID	Nome	Percentis				
		10%	25%	50%	75%	90%
Proteção dos Corpos de Água						
EPA-01	Atendimento ao número requerido de análises de afluentes - Global (%)	24	29	33	42	42
EPA-02	Atendimento ao número requerido de análises de efluentes - Global (%)	21	25	33	38	42
EPA-03	Atendimento ao número requerido de análises de DQO (%)	25	33	33	42	42
EPA-05	Eficiência de remoção de DQO (%)	82	84	87	89	90
EPA-06	Eficiência de remoção de SST (%)	76	81	86	89	92
EPA-09	Eficiência de remoção de coliformes termotolerantes (unid. log removidas)	2,2	2,9	3,6	4,0	4,4
EPA-11	Atendimento às metas de concentração efluente - Global (%)	98	100	100	100	100
EPA-12	Atendimento às metas de concentração efluente de DQO (%)	67	79	100	100	100
EPA-13	Atendimento às metas de concentração efluente de SST (%)	100	100	100	100	100
EPA-16	Atendimento às metas de concentração efluente de coliformes termotolerantes (%)	0	0	0	0	100
EPA-17	Atendimento às metas de eficiência de remoção pela ETE - Global (%)	79	88	100	100	100
EPA-18	Atendimento às metas de eficiência de remoção de DQO pela ETE (%)	25	48	60	75	100
EPA-19	Atendimento às metas de eficiência de remoção de SST pela ETE (%)	100	100	100	100	100
EPA-22	Atendimento às metas de eficiência de remoção de coliformes termotolerantes pela ETE (%)	0	0	0	0	100
EPA-23	Efetividade do atendimento à meta de DQO efluente - Média dos valores desconformes (%)	104	109	110	116	118
Sustentabilidade Ambiental						
ESA-05	Consumo de energia (kWh/m ³ esgoto tratado)	0,018	0,019	0,021	0,023	0,024
ESA-06	Consumo de produto químico (kg cal/m ³ esgoto tratado)	0,0006	0,0007	0,0008	0,0011	0,0014
Sustentabilidade da Infraestrutura						
ESI-01	Adequação da capacidade hidráulica (%)	8	9	10	11	12
Sustentabilidade Econômica						
ESE-01	Custo do tratamento de esgoto (R\$/m ³ esgoto tratado)	0,48	0,60	0,69	0,76	0,80
ESE-02	Custo de energia elétrica (R\$/m ³ esgoto tratado)	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007
ESE-03	Custo de produtos químicos ((R\$/m ³ esgoto tratado)	0,0001	0,0002	0,0003	0,0003	0,0006
ESE-04	Custos de pessoal (R\$/m ³ esgoto tratado)	0,12	0,16	0,20	0,24	0,29

5.6.3.4 Análise comparativa conjunta das ETE Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião

A avaliação comparativa dos resultados obtidos pela aplicação do SISTEMA ID-ETE para as ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião foi desenvolvida a partir das estatísticas descritivas e séries temporais apresentadas anteriormente. A Tabela 5.53 apresenta uma análise comparativa entre os valores médios obtidos para IDs calculados em cada ETE.

Com relação ao critério controle do monitoramento, ao se compararem os IDs EPA-01, EPA-02 e EPA-03, nota-se que os resultados obtidos para a ETE Brasília Norte são bastante superiores aos obtidos nas demais ETEs, indicando portanto, a ocorrência de mais análises na referida estação. Porém, é importante ressaltar que, pelas séries temporais, pode-se observar o decaimento do percentual de atendimento ao número requerido de análises ao longo do tempo, na ETE Brasília Norte, alcançando valores em torno de 40% no final do ano de 2010. Este valor encontra-se próximo aos observados na ETE Samambaia no mesmo período, enquanto na ETE São Sebastião os resultados obtidos encontram-se em torno de 30%.

Nas três ETEs analisadas, foram obtidas boas médias para todos os IDs referentes ao critério eficiência de remoção (EPA-05 a EPA-09). Os resultados menos satisfatórios aconteceram para a ETE Brasília Norte, referente à sua eficiência de remoção de NTK (85%) e coliformes termotolerantes (2,5 unidades log removidas), e para a ETE São Sebastião, devido às eficiências de remoção de DQO e SST, ambas em torno de 85%.

Os IDs associados ao atendimento às metas de concentrações efluentes (EPA-11 a EPA-16) também apresentaram resultados satisfatórios, com exceção apenas para os resultados de NTK e coliformes termotolerantes na ETE Brasília Norte e coliformes termotolerantes na ETE São Sebastião. Vale ressaltar que o EPA-11, ID global do referido tema, foi capaz de refletir os baixos valores obtidos para NTK na primeira ETE analisada. Embora não seja o objetivo do presente trabalho a interpretação do processo interno de cada ETE, deve-se destacar que na ETE Brasília Norte, devido ao processo de remoção biológica de nutrientes utilizado, prioriza-se a remoção de fósforo sobre a de NTK, uma vez que ambos os objetivos podem ser conflitantes em termos da operação do reator biológico (zonas anaeróbia, anóxica e aeróbia). Com relação a coliformes, o sistema de tratamento utilizado não contempla uma etapa específica que objetive sua remoção com maior eficiência.

Assim como para os IDs de atendimento às metas de concentração efluente, os IDs EPA-17 a EPA-22, de atendimento às metas de eficiência de remoção, obtiveram resultados satisfatórios com exceção do ID referente a coliformes termotolerantes nas ETEs Brasília Norte e São Sebastião e, também na última, o ID associado ao parâmetro DQO.

Com relação à efetividade dos sistemas ao atendimento à meta de DQO efluente, medida pelo EPA-23, observou-se o mesmo resultado para a ETE Brasília Norte e a ETE São Sebastião. O valor obtido indicou que a média das concentrações dos valores desconformes de DQO (concentração efluente) correspondem a 112% do valor da meta, apesar de na primeira ETE acontecerem 3 descumprimentos à meta e na segunda ocorrerem 13. Vale destacar que, na análise deste ID, deve-se sempre observar o número de dados, uma vez que o mesmo se refere ao número de meses em que ocorreram concentrações de DQO desconformes à meta estabelecida para o efluente. Dessa forma, notou-se uma média de um mês por ano com valores desconformes para a ETE Brasília Norte e de três meses por ano para a ETE São Sebastião, com tendência de ocorrências no período chuvoso na última.

Com relação ao objetivo sustentabilidade ambiental (ESA-05 e ESA-06), nota-se que o consumo de energia é muito superior na ETE Brasília Norte, como já era esperado, uma vez que a mesma apresenta estruturas no processo de tratamento dependentes de energia elétrica e automatizadas, como aeradores e bombeamentos. Ao se avaliar o consumo de produtos químicos, observa-se que a ETE Brasília Norte é a que necessita de mais tipos de produtos, porém, na ETE Samambaia o consumo ocorre em quantidades representativas.

A sustentabilidade da infraestrutura (ESI-01), avaliada pela adequação da capacidade hidráulica, mostra que as três ETEs operam em condição de subcarga, sendo que a ETE São Sebastião recebe, em média, apenas 10% da sua capacidade de projeto. A análise do ID EPA-10, referente à ocorrência de by-pass, que não pôde ser calculado no presente estudo, poderia complementar a análise da adequação da capacidade sob a perspectiva de situações emergenciais.

Pelo cálculo dos IDs de avaliação da sustentabilidade econômica (ESE-01 a ESE-04), observou-se que o m³ de esgoto tratado na ETE Brasília Norte é em torno de R\$1,00 enquanto na ETE Samambaia e na ETE São Sebastião a média é de R\$0,57 e R\$0,67, respectivamente (database de janeiro 2012). Nas três ETEs analisadas percebe-se que os custos mais representativos ocorrem com pessoal.

Dessa forma, percebe-se que a ETE Samambaia, mesmo não apresentando as condições de funcionamento ideal, necessitando manutenção e recebendo lixiviado de aterro sanitário, é constituída por um sistema tão robusto que continua obtendo bons resultados no âmbito do objetivo proteção dos corpos de água. Na ETE Brasília Norte, nota-se que seu elevado desempenho não poderia ser alcançado sem valores elevados de energia, produtos químicos e custos, em função do seu porte e processo de tratamento. Além disso, ficou evidenciada, pelos IDs, a necessidade de se envidarem esforços para a remoção de coliformes termotolerantes, já que a referida ETE atende a metas bastante exigentes para os demais parâmetros e não está aparelhada para a remoção deste. Com relação à ETE São Sebastião, foram constatados bons resultados associados à proteção dos corpos de água, porém, para a maior parte dos IDs, inferiores aos valores das demais ETEs estudadas, o que pode ser consequência da representativa interferência da perda de água por evapotranspiração em seu processo de tratamento, o que causa uma elevação da concentração dos constituintes no efluente final. Essa condição evidencia a importância de se trabalhar com cargas de constituintes dos esgotos ao invés de se trabalhar com concentrações, porém no presente estudo esta opção não foi possível devido a disponibilidade apenas da vazão afluente e das concentrações afluentes e efluentes. Vale ressaltar que, devido ao seu porte e processo de tratamento, a ETE São Sebastião apresenta a vantagem de demandar baixo consumo energético, sendo menos susceptível à falta de energia, e reduzido consumo de produtos químicos, além de apresentar baixos custos de tratamento.

Tabela 5.53 – Comparação entre resultados dos IDs para as ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião.

ID	Nome	Sentido de preferência	Média		
			Bras. Norte	Samamb.	S.Sebastião
Proteção dos Corpos de Água					
EPA-01	Atendimento ao nº requerido de análises de afluente - Global (%)	↑	76	41	<u>33</u>
EPA-02	Atendimento ao nº requerido de análises de efluente - Global (%)	↑	76	41	<u>31</u>
EPA-03	Atendimento ao número requerido de análises de DQO (%)	↑	92	47	<u>34</u>
EPA-05	Eficiência de remoção de DQO (%)	↑	91	94	<u>86</u>
EPA-06	Eficiência de remoção de SST (%)	↑	95	95	<u>85</u>
EPA-07	Eficiência de remoção de NTK (%)	↑	85	-	-
EPA-08	Eficiência de remoção de P (%)	↑	96	<u>92</u>	-
EPA-09	Eficiência de remoção de colif. termot. (unidade log removidas)	↑	<u>2,5</u>	5,9	3,4
EPA-11	Atendimento às metas de concentração efluente - Global (%)	↑	<u>92</u>	97	97
EPA-12	Atendimento às metas de concentração efluente de DQO (%)	↑	99	100	<u>91</u>
EPA-13	Atendimento às metas de concentração efluente de SST (%)	↑	<u>96</u>	<u>96</u>	100
EPA-14	Atendimento às metas de concentração efluente de NTK (%)	↑	83	-	-
EPA-15	Atendimento às metas de concentração efluente de P (%)	↑	97	<u>93</u>	-
EPA-16	Atendimento às metas de concentração efluente de colif. termot. (%)	↑	0	92	13
EPA-17	Atendimento às metas de eficiência de remoção - Global (%)	↑	<u>90</u>	92	91
EPA-18	Atendimento às metas de eficiência de remoção de DQO (%)	↑	98	95	<u>61</u>
EPA-19	Atendimento às metas de eficiência de remoção de SST (%)	↑	94	<u>87</u>	98
EPA-20	Atendimento às metas de eficiência de remoção de NTK (%)	↑	76	-	-
EPA-21	Atendimento às metas de eficiência de remoção de P (%)	↑	97	89	-
EPA-22	Atendimento às metas de eficiência de remoção de colif. termot. (%)	↑	0	90	24
EPA-23	Efetividade do atendimento à meta de DQO pelo efluente (%)	↓	112	-	112
Sustentabilidade Ambiental					
ESA-05	Consumo de energia (kWh/m³ esgoto tratado)	↓	<u>0,67</u>	0,05	0,02
ESA-06	Consumo produto químico (produto químico/m³ esgoto tratado)	↓	0,16 ^(a)	0,25 ^(b)	0,0009 ^(c)
Sustentabilidade da Infraestrutura					
ESI-01	Adequação da capacidade hidráulica (%)	(*)	52	27	10
Sustentabilidade Econômica					
ESE-01	Custo do tratamento de esgoto (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	<u>0,99</u>	0,57	0,67
ESE-02	Custo de energia elétrica (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	<u>0,18</u>	0,02	0,01
ESE-03	Custo de produtos químicos ((R\$/m³ esgoto tratado)	↓	0,14	<u>0,19</u>	0,0003
ESE-04	Custos de pessoal (R\$/m³ esgoto tratado)	↓	<u>0,31</u>	0,19	0,20

Legenda: ↑ Sentido crescente (maior melhor)/ ↓ Sentido decrescente (menor melhor)/ (*) Valor inferior a 100% indica subcarga e valor superior a 100% indica sobrecarga./ (a) Produto químico: L de sulfato de alumínio./ (b) produto químico: L de cloreto férrico./ (c) Produto químico: kg de cal./ Negrito: melhor resultado./ Sublinhado: pior resultado.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como resultado principal a proposição do SISTEMA ID-ETE, a ser utilizado por agências reguladoras na avaliação do desempenho de estações de tratamento de esgotos. A relevância da pesquisa se deve ao fato de sistemas de indicadores de desempenho específicos para estações de esgotos serem incipientes, tanto no âmbito nacional quanto no âmbito internacional, sendo a principal iniciativa o sistema desenvolvido em Portugal.

Anteriormente ao desenvolvimento do SISTEMA ID-ETE, realizou-se o diagnóstico e análise do desempenho de três estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal que, ao final do estudo, foram utilizadas como objetos para verificação da aplicabilidade e necessidade de ajuste do sistema de avaliação desenvolvido. O diagnóstico prévio, além de permitir a compreensão do comportamento das ETEs, subsidiou uma série de decisões tomadas ao longo do desenvolvimento do sistema como a definição dos critérios a serem avaliados, a determinação dos valores adotados como metas e o nível de detalhamento necessário de se buscar para cada indicador, sendo, esta etapa, portanto, de grande relevância para o estudo.

O SISTEMA ID-ETE é constituído, inicialmente, por 39 indicadores de desempenho, porém, este número pode variar em função do processo de tratamento da estação analisada, se a mesma incorpora objetivos complementares aos tradicionais de remoção de matéria orgânica e sólidos (como, por exemplo, nutrientes e/ou coliformes) e se utiliza produtos químicos ou não.

As finalidades da regulação, no âmbito do saneamento, subsidiaram a definição dos objetivos e critérios de avaliação dos indicadores de desempenho. Ficou evidenciada a capacidade dos IDs de agregarem ao sistema de avaliação características relevantes para a regulação como objetividade, eficiência e transparência.

Indicadores de desempenho referentes a atendimentos a metas estabelecidas previamente são capazes de avaliar o desempenho de estações de tratamento de esgotos com relação ao controle de monitoramento, constituintes dos efluentes e eficiências de remoção dos mesmos. No presente estudo, foram adotadas metas rigorosas, que podem ser discutidas e revistas pela agência reguladora, juntamente com a prestadora de serviço. As metas devem ser determinadas em concordância com a constituição de cada sistema individualmente e

subsidiadas por metas já consolidadas na literatura, para que sejam possíveis de serem alcançadas. Uma ferramenta capaz de auxiliar na verificação da viabilidade das metas adotadas é a análise de confiabilidade. Como forma de incentivo a investimentos na melhoria do processo de tratamento da ETE ao longo do tempo, metas progressivas para os valores de referência de cada indicador podem ser adotadas.

A verificação expedita da utilização da capacidade hidráulica instalada, a partir de um indicador de desempenho, permite conhecer a condição em que a ETE opera, se em subcarga ou sobrecarga, informação que complementa o conhecimento do desempenho do sistema, indicando causas e consequências de certos resultados verificados.

A utilização dos indicadores de desempenho referentes ao consumo de insumos e custos tornou possível a comparação dos referidos valores entre ETEs distintas.

Aplicar o SISTEMA ID-ETE para avaliar três ETEs do Distrito Federal foi pertinente uma vez que as estações selecionadas, Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião, representam adequadamente, em termos de porte e processo, as diversas estações existentes na localidade, bem como permitiu que se trabalhasse com dados de qualidade, obtidos, quase sempre, em frequências adequadas.

Diante do exposto, conclui-se que a metodologia de avaliação de desempenho desenvolvida é capaz de avaliar ETEs de processos e portes distintos sob a perspectiva da regulação. Além disso, o SISTEMA ID-ETE permite uma comparação representativa entre o desempenho das referidas ETEs.

7 RECOMENDAÇÕES

- Aplicar o SISTEMA ID-ETE para as outras estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal.
- Reavaliar os valores de referência de cada ID, à luz da avaliação do conjunto de todas as ETEs do Distrito Federal.
- Aplicar o SISTEMA ID-ETE para estações de tratamento de outra prestadora de serviço, em outra região do país, para validação do sistema.
- Aplicar os IDs propostos que não foram possíveis de serem calculados no presente estudo.
- Utilizar o controle estatístico de processo (CEP) para avaliação do SISTEMA ID-ETE, analisando os resultados obtidos para cada indicador de desempenho.
- Desenvolver um software capaz de armazenar o banco de dados necessário e realizar o cálculo dos IDs constituintes do SISTEMA ID-ETE.
- Desenvolver uma metodologia de classificação das estações de tratamento em função dos resultados obtidos para os indicadores de desempenho.
- Estudar a eficiência efetiva da ETE São Sebastião e ETE Samambaia, buscando-se conhecer a interferência real da evapotranspiração.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. *Manual de operação - versão 2002.0*. Programa de despoluição de bacias hidrográficas – PRODES. 149p., 2002.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL – ADASA. Disponível em: www.adasa.df.gov.br . Acessado em 18 de setembro de 2012.

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M.; PARENA, R. *Performance indicators for water supply services*. Londres: IWA Publishing, 2000. 160 p.

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA JR., H.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. *Performance indicators for water supply services*. 2. Ed. Londres: IWA Publishing, 2006. 312 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGÊNCIAS DE REGULAÇÃO – ABAR. Disponível em: www.abar.org.br . Acessado em 18 de setembro de 2012.

BALMÉR, P.; HELLSTRÖM, D. Performance indicators for wastewater treatment plants. In: IWA SPECIALIST CONFERENCE ON BENCHMARKING AND PERFORMANCE ASSESSMENT OF WATER SERVICES, 2011. Valencia. *Anais...* Valencia: IWA, 2011.

BALMÉR, P.; HELLSTRÖM, D. Performance indicators for wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, n. 65.7, p. 1304-1310, 2012.

BRASIL. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências*. Brasil, 2007.

BRASIL. *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*. Brasil, 2005.

BRASIL. *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA*. Brasil, 2011.

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.

BROSTEL, R. C. *Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de estações de tratamento de esgotos sanitários (ETES)*. 2002. 133f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL – CAESB. *SIESG – Sinopse do sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal*. Distrito Federal, 2008. Disponível em: <http://www.caesb.df.gov.br/conteudo/siesg/SIESG2008.pdf>

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL – CAESB. *SIESG – Sinopse do sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal*. 24 ed. Distrito Federal, 2011.

ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ÁGUAS E RESÍDUOS – ERSAR; LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – LNEC. *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de água e resíduos prestados aos utilizadores. 2ª Geração dos sistemas de avaliação*. Lisboa, 2010.

INSTITUTO REGULADOR DE ÁGUAS E RESÍDUOS – IRAR. *Relatório anual do sector de águas e resíduos de Portugal (2007) – Avaliação da qualidade do serviço prestado*. Lisboa, 2008.

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.

LINDTNER, S.; SCHAAR, H.; KROISS, H. Benchmarking of large municipal wastewater treatment plants treating over 100,000 PE in Austria. *Water Science and Technology*, n. 57.10, p. 1487-1493, 2008.

LINDTNER, S. *Beitrag zum Benchmarking von Abwasserreinigungsanlagen*. PhD thesis, Institute of Water Quality, Resources and Waste Management, Vienna University of Technology, Austria, 2004.

MATOS, R.; CARDOSO, A.; ASHLEY, R.; DUARTE, P.; MOLINARI, A.; SCHULZ, A. *Performance indicators for wastewater services*. Londres: IWA Publishing, 2003. 192 p.

MATOS, R.; CARDOSO, A.; ASHLEY, R.; DUARTE, P.; MOLINARI, A.; SCHULZ, A. *Indicadores de desempenho para serviços de águas residuais*. Lisboa: IRAR-LNEC, 2004. 283 p.

METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: treatment, and reuse*. New York: Metcalf & Eddy, Inc., 4 th. Ed., 2003, 1819p.

MOLINARI, A. Panorama mundial. 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. 54-74.

MOLINARI, A. Una aplicación de las normas ISO 24500 para la evaluación del desempeño de un organismo prestador de servicios de água potable y águas residuais. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULAÇÃO, 2011, Brasília, DF. *Anais...* Brasília, DF: ABAR, 2011.

OLIVEIRA, S. M. A. C. *Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos*. 2006. 214p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR DO SANEAMENTO – PMSS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) – diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2008*. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Programa de Modernização do Setor Saneamento, Brasília, DF, 2009.

QUADROS, S.; ROSA, M. J.; ALEGRE, H.; SILVA, C. A performance indicators system for urban wastewater treatment plants. *Water Science and Technology – Water supply*, n. 62(10), p. 2398-2407, 2010.

ROSA, M. J.; RAMALHO, P.; SILVA, C.; VIEIRA, P.; QUADROS, S.; ALEGRE, H.; PAST21 - Iniciativa nacional de avaliação de desempenho de ETA e ETAR urbanas. In: Actas do 10º Congresso da Água, Alvor, Algarve: 2010. 14pp.

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.

SILVA, C.; RAMALHO, P.; ROSA, M.J.; VIEIRA, P.; QUADROS, S.; ALEGRE, H. Resultados preliminares da iniciativa nacional de avaliação de desempenho de ETA e ETAR urbanas «PAST21». In: 14º ENASB/SILUBESA – ENCONTRO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO/SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2010, Porto. Anais ... Porto. APESB: 2010.

SILVA, C.; RAMALHO, P.; QUADROS, S.; VIEIRA, P.; ALEGRE, H.; ROSA, M. J. Preliminary results of «PAST21» – The Portuguese initiative for performance assessment of water and wastewater treatment plants. In: CABRERA JR, E.; PARDO, M. A. *Performance Assessment of Urban Infrastructure Services*. Londres: IWA Publishing. 2011.

STAHRE P.; ADAMSSON, J. Performance benchmarking. A powerful management tool for water and wastewater utilities. WATERMARQUE. 3.5. 2004.

VON SPERLING, T. L. *Estudo da utilização de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário*. 2010. 248f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

XIMENES, M. M. A. F. A ABAR e a construção de instrumentos para a regulação. 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. 11-28.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Levantamento dos indicadores de desempenho específicos para avaliação de estações de tratamento de esgotos existentes na literatura, organizados por critérios de avaliação.

Tabela A.1 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Controle do Monitoramento, objetivo Proteção dos Corpos de Água.

Número de IDs similares (organizações)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
7 (ERSAR, LNEC, ABAR, ADERASA, ISO, IWA)	Análises de águas residuárias realizadas (%)	ERSAR (AR14)
	Conformidade da água de descarga em número de análises realizadas (DL 152/97) (%)	LNEC (wtWQ01.2)
	Testes de qualidade realizados (descarga permitida pela regulação) (%)	LNEC (wtWQ01.1)
	Cumprimento da quantidade de análises exigidas pela norma (%)	ABAR (ICC-03)
	Índice de execução de análises do efluente tratado (%)	ADERASA (ICC-03)
	Testes de qualidade de esgotos realizados de acordo com requisitos	ISO 24511 (-)
	Testes de qualidade dos esgotos realizados (-/ano)	IWA (wOp44)
2 (IWA, LNEC)	Calibração de medidores de vazão [$N^{\circ}/(\text{medidor de vazão} \times \text{ano})$]	LNEC (wtER41)
	Calibração de medidores de vazão das ETEs (-/ano)	IWA (wOp13)
1 (LNEC)	Monitoramento da qualidade das águas residuárias	LNEC (wtER25.i)
1 (IWA)	Teste de DBO (-/ano)	IWA (wOp45)
1 (IWA)	Teste de DQO (-/ano)	IWA (wOp46)
1 (IWA)	Teste de lançamentos industriais (-/ano)	IWA (wOp53)
1 (IWA)	Teste de Nitrogênio (-/ano)	IWA (wOp49)
1 (IWA)	Teste de P Total (-/ano)	IWA (wOp48)
1 (IWA)	Teste de SST (-/ano)	IWA (wOp47)
1 (IWA)	Teste <i>E.coli</i> (-/ano)	IWA (wOp50)
1 (LNEC)	Testes de laboratório (N°/ano)	LNEC (wtER24)
1 (LNEC)	Tipo de monitoramento da qualidade da água / lodo	LNEC (wtER25)
1 (IWA)	Teste de lodo (-/ano)	IWA (wOp52)
1 (ISO)	Testes de qualidade de resíduos realizados de acordo com requisitos	ISO 24511 (-)
1 (IWA)	Calibração de equipamento de monitoramento da qualidade dos esgotos (-/ano)	IWA (wOp14)

Tabela A.2 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Eficiência de Remoção, objetivo Proteção dos Corpos de Água.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
4 (<i>Austrian System</i> , UNB, SWWA, PNQS)	Eficiência de remoção de DBO (%)	<i>Austrian System</i> (-)
	Eficiência de remoção de DBO	UNB (-)
	Percentagem de remoção de DBO	SWWA (-)
	Remoção de carga poluente do esgoto recebido na estação de tratamento (%)	PNQS (ISp03)
4 (<i>Austrian System</i> , SWWA, UNB, LNEC)	Eficiência de remoção de DQO (%)	<i>Austrian System</i> (-)
	Percentagem de remoção de DQO	SWWA (-)
	Eficiência de remoção de DQO	UNB (-)
	Eficiência de remoção de DQO (%)	LNEC (wtER04)
3 (<i>Six Cities</i> , <i>Austrian System</i> , SWWA)	% de remoção de fósforo total	<i>Six Cities</i> (-)
	Eficiência de remoção de P (%)	<i>Austrian System</i>
	Percentagem de remoção de P	SWWA (-)
3 (<i>Six Cities</i> , <i>Austrian System</i> , SWWA)	% de remoção de nitrogênio total	<i>Six Cities</i> (-)
	Eficiência de remoção de N (%)	<i>Austrian System</i> (-)
	Percentagem de remoção de N	SWWA (-)
2 (SWWA, <i>Six Cities</i>)	Percentagem de remoção de PCO (potencial de consumo de oxigênio, é usado como uma medida da carga total sobre o corpo receptor)	SWWA (-)
	% de remoção de matéria orgânica	<i>Six Cities</i> (-)
1 (LNEC)	Eficiência mássica de estabilização de DBO ₅	LNEC (wtER02)
1 (<i>Six Cities</i>)	% de remoção de pesticidas organoclorados	<i>Six Cities</i> (-)
1 (SWWA)	Percentagem de remoção de COT	SWWA (-)
1 (LNEC)	Eficiência volumétrica (%)	LNEC (wtER01)
1 (LNEC)	Eficiência mássica de remoção de DBO ₅ (%)	LNEC (wtER03)

Tabela A.3 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Controle de By-Pass, objetivo Proteção dos Corpos de Água.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
1 (IWA)	Frequência de descargas de excedentes (n.º/d Descarregador de tempestade/ano)	IWA (wEn3)
1 (IWA)	Volume de descargas de excedentes (m ³ /Descarregador de tempestade/ano)	IWA (wEn4)
1 (IWA)	Volume de descargas de excedentes originadas por precipitação (%)	IWA (wEn5)

Tabela A.4 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Metas de Lançamento, objetivo Proteção dos Corpos de Água.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
6 (LNEC, ABAR, AWWA, ADERASA, WSAA)	Conformidade da água de descarga em relação à qualidade (DL 152/97) (%)	LNEC (wtWQ03.2a)
	Conformidade da qualidade da descarga de água com outras normas (%)	LNEC (wtWQ04)
	Conformidade das análises das águas residuárias (%)	ABAR (ICC-04)
	Efetividade do tratamento dos esgotos (medida pela conformidade com os padrões estabelecidos)	AWWA (20)
	Índice análises do efluente tratado dentro do padrão exigido pela norma (%)	ADERASA (ICC-04)
	Índice de esgoto tratado dentro dos padrões (%)	WSAA (E4)
1 (ISO)	Número de desconformidades de testes de qualidade/quantidade de testes na descarga do efluente	ISO 24511 (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Carga orgânica por volume (kg SSV/m ³ /d)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	SSV específicos (g SSV/(e.p. - DQO110*d))	<i>Austrian System</i> (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Concentrações do efluente DBO (mg/L)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (SWWA)	Descargas (kg/e.p./ano de DBO)	SWWA (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Concentrações do efluente DQO (mg/L)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (SWWA)	Descargas (kg/e.p./ano de DQO)	SWWA (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Concentrações do efluente N (mg/L)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (SWWA)	Descargas (kg/e.p./ano de N)	SWWA (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Concentrações do efluente P (mg/L)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (SWWA)	Descargas (kg/e.p./ano de P)	SWWA (-)
1 (SWWA)	Descargas (kg/e.p./ano de potencial de consumo de oxigênio)	SWWA (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	DBO/DQO (-)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (LNEC)	Qualidade microbiológica da água recuperada nos pontos de lançamento (%)	LNEC (wtWQ08.1)
1 (LNEC)	Conformidade da qualidade das águas residuárias (%)	LNEC (wtWQ03.1)

Tabela A.5 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Equipe de Operação, objetivo Recursos Humanos.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
3 (IWA, LNEC, SWWA)	Número de operadores na ETE (Nº/1000 p.e.)	IWA (wPe10)
	Pessoal dedicado ao tratamento (Nº/10 ⁶ m ³)	LNEC (wtPe01)
	Pessoal nas operações (Nº/10000 e.p.)	SWWA (-)
2 (IWA, SWWA)	Funcionários trabalhando na ETE por população equivalente (Nº/1000 p.e.)	IWA (wPe1)
	Total de pessoal (Nº/10000 e.p.)	SWWA (-)
2 (IWA, LNEC)	Tempo total de treinamento (horas/empregado/ano)	IWA (wPe17)
	Tempo total de treinamento [hora/(empregado.ano)]	LNEC (wtPe04)
2 (IWA, LNEC)	Horas extras (%)	IWA (wPe25)
	Horas extras de trabalho (%)	LNEC (wtPe08)
2 (IWA, LNEC)	Pessoal com formação superior (%)	LNEC (wtPe02)
	Pessoal com formação universitária (%)	IWA (wPe14)
2 (IWA, LNEC)	Absenteísmo (dias/100 empregados/ano)	IWA (wPe22)
	Absenteísmo (%)	LNEC (wtPe06.1)
1 (IWA)	Pessoal com a escolaridade mínima obrigatória (%)	IWA (wPe15)
1 (LNEC)	Pessoal dedicado ao planejamento e projeto	LNEC (wtPD01)
1 (IWA)	Pessoal dedicado ao monitoramento da qualidade das águas residuárias [Nº/(1000 testes/ano)]	IWA (wPe12)
1 (IWA)	Pessoal dos serviços de apoio (%)	IWA (wPe13)
1 (IWA)	Pessoal com outras qualificações (%)	IWA (wPe16)

Tabela A.6 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Saúde ocupacional, objetivo Recursos Humanos.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
2 (IWA, LNEC)	Absenteísmo por acidente de trabalho ou doença (dias/100 empregados/ano)	IWA (wPe23)
	Absenteísmo por acidente de trabalho ou doença profissional	LNEC (wtPe07)
2 (IWA, LNEC)	Acidentes de trabalho (Nº/100 empregados/ano)	IWA (wPe20)
	Acidentes de trabalho e doenças profissionais [Nº/(10 empregados.ano)]	LNEC (wtSa02)
1 (IWA)	Pessoal com vacinação atualizada relativa a doenças potencializadas pelo contato com águas residuárias (%)	IWA (wPe18)
1 (IWA)	Absenteísmo por outras razões (dias/100 empregados/ano)	IWA (wPe24)
1 (IWA)	Acidentes de trabalho fatais (Nº /100 empregados/ano)	IWA (wPe21)

Tabela A.7 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Controle de Resíduos e Gases, objetivo Sustentabilidade Ambiental.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
6 (SWWA, LNEC, UNB, IWA, Austrian System)	Produção de lodo (kg sólidos secos/e.p./ano)	SWWA (-)
	Produção de lodo (kg/m ³)	LNEC (wtBP01.1)
	Produção de lodo/kg de DQO removida	UNB (-)
	Produção de lodo na ETE (kg/e.p./ano)	IWA (wEn6)
	Produção específica de excesso de lodo [g sólido seco/(e.p. - DQO110*d)]	Austrian System (-)
	Produção específica de lodo [g lodo úmido/(e.p. - DQO110*d)] processo saída	Austrian System (-)
5 (ERSAR, IWA, OFWAT)	Destino dos lodos do tratamento (%)	ERSAR (AR16)
	Lodo encaminhado para aterro (%)	IWA (wEn9)
	Disposição de lodo	OFWAT (-)
	Disposição do lodo (%)	IWA (wEn8)
	Outros destinos do lodo (%)	IWA (wEn11)
4 (SWWA, LNEC)	Produção de biogás (kWh/e.p./ano)	SWWA (-)
	Produção de biogás (kWh/kg DQO recebido na ETE)	SWWA (-)
	Produção de biogás (m ³ /kg)	LNEC (wtBP17)
	Produção de biogás como (kWh / kg DQO consumida nos digestores)	SWWA (-)
4 (Austrian System, ISO, IWA)	Produção específica de material nos desarenadores [kg/(e.p. - DQO110*a)]	Austrian System (-)
	Produção específica de material retido na grade [kg/(e.p. - DQO110*a)]	Austrian System (-)
	Peso dos resíduos removidos por caixa de areia, separador de óleos e graxas e gradeamento	ISO 24511 (-)
	Sedimentos de unidades particulares (t/e.p./ano)	IWA (wEn15)
3 (LNEC, WSAA)	Emissões de Gases de Efeito Estufa	LNEC (wtBP19)
	Emissões de gases provenientes do sistema de esgoto danosos ao efeito estufa (ton CO ₂ /1000 propriedades)	WSAA (E10)
	Total de emissões de gases danosos ao efeito estufa (ton. CO ₂ /1000 propriedades)	WSAA (E12)
3 (LNEC, OFWAT)	Derrames e fugas de produtos químicos, subprodutos (ou águas residuárias) (kg/10 ⁶ m ³)	LNEC (wtSa01)
	Escoamento de sub-produtos	LNEC (wtBP10)
	Número de acidentes de poluição decorrentes da drenagem e tratamento dos esgotos	OFWAT (-)
2 (LNEC, Austrian System)	Teor em matéria seca dos lodos produzidos (%)	LNEC (wtBP08)
	Sólidos secos - lodo espesso (%)	Austrian System (-)
2 (IWA)	Detecores de gás (N ^o /func.)	IWA (wOp55)
	Detecores de gás permanentemente instalados (%)	IWA (wOp56)
2 (ISO, LNEC)	Volume de sedimentos removidos de estruturas do sistema (ex.: tanque séptico)	ISO 24511 (-)
	Produção de outros sub-produtos (m ³ / 10 ⁶ m ³)	LNEC (wtBP09)
2 (Austrian System)	Idade do lodo (d)	Austrian System (-)
	Idade do lodo aeróbico (d)	Austrian System (-)
1 (LNEC)	Descarte de lodo (-)	LNEC (wtBP02)
1 (Austrian System)	Índice de lodo (mL/g)	Austrian System (-)
1 (Six Cities)	% de lodo utilizado na agricultura	Six Cities (-)
1 (Austrian System)	Produção específica primária de lodo no trat. biológico primário [g sólido seco/(e.p. - DQO110*d)]	Austrian System

Continua.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
1 (SWWA)	Qualidade de lodo (mg de contaminante/hab. ligado à rede de coleta/ano)	SWWA (-)
1 (Austrian System)	Sólidos secos específicos na estabilização e desidratação do lodo [g sólidos secos/(e.p. - DQO110*d)]	Austrian System (-)
1 (Austrian System)	Sólidos voláteis do lodo estabilizado (%)	Austrian System (-)
1 (Six Cities)	Teor de metal nos lodos	Six Cities (-)
1 (IWA)	Secagem térmica do lodo (%)	IWA (wEn10)
1 (LNEC)	Valorização de lodos (%)	LNEC (wtBP04)
1 (Austrian System)	Acumulação específica do gás do digestor [L/(e.p.-DQO110*d)]	Austrian System (-)
1 (LNEC)	Valorização de biogás	LNEC (wtBP18)
1 (Austrian System)	Produção específica de graxa [m ³ /(e.p. - DQO110*a)]	Austrian System (-)
1 (LNEC)	Derramamento e/ou escapamento de produtos químicos gasosos (kg/10 ⁶ m ³)	LNEC (wtSa01.0a)
1 (LNEC)	Rejeição do meio suporte (m ³ /10 ⁶ m ³)	LNEC (wtBP13)

Tabela A.8 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Eficiência no Uso de Recursos, objetivo Sustentabilidade Ambiental.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
6 (ISO, UNB, Austrian System, SWWA, LNEC, IWA)	Consumo de energia por tratamento de esgoto	ISO 24511 (-)
	Consumo de energia/ kg DQO removida	UNB (-)
	Consumo de energia (kWh/m ³)	LNEC (wtRU03)
	Consumo de energia em ETEs (kWh/e.p./ano)	IWA (wOp18)
	Consumo específico de energia (kWh/e.p.-DQO110/a)	Austrian System (-)
4 (Austrian System, SWWA)	Energia elétrica total utilizada (kWh/e.p./ano)	SWWA (-)
	Consumo específico de energia para aeração (kWh/DQO degradada/a)	Austrian System (-)
	Consumo específico de energia para aeração (kWh/e.p.-DQO110/a)	Austrian System (-)
	Energia elétrica utilizada para aeração (kWh/e.p./ano)	SWWA (-)
3 (SWWA, Austrian System)	Energia elétrica utilizada para aeração (kWh/kg de demanda de oxigênio)	SWWA (-)
	Consumo de precipitantes (mol de metal/e.p./ano)	SWWA (-)
	Consumo de precipitantes (mol de metal/mol de P)	SWWA (-)
2 (SWWA)	Consumo específico do agente precipitante como valor-beta (mol de gradiente ativo/mol P-precipitável)	Austrian System (-)
	Consumo de polímeros para a desidratação (kg sólidos secos/ton)	SWWA (-)
2 (IWA, ISO)	Consumo de polímeros para a desidratação (kg/e.p./ano)	SWWA (-)
	Reúso de efluente (%)	IWA (wEn2)
2 (LNEC)	Reúso de esgoto (código da IWA: wEn2)	ISO 24511(-)
	Conformidade da água residuária para reutilização em N ^o de análises realizadas	LNEC (wtWQ05)
	Conformidade da qualidade da água com padrões de reúso (%)	LNEC (wtWQ07)

Continua.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
2 (LNEC)	Reposição/substituição de meios de enchimento	LNEC (wtRU06)
	Substituição de areia (%/ ano)	LNEC (wtRU06.0a)
1 (LNEC)	Consumo de água doce na ETE (m ³ /10 m ³)	LNEC (wtRU01)
1 (<i>Austrian System</i>)	Consumo específico de energia [kWh/t - (excesso)lodo - lodo úmido]	<i>Austrian System</i> (-)
1 (SWWA)	Energia comprada (kWh/e.p./ano)	SWWA (-)
1 (SWWA)	Energia elétrica utilizada em outras etapas biológicas (kWh/e.p./ano)	SWWA (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Produção de energia elétrica (CHP) (kWh/m ³ - gas/a)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Energia específica de mistura (W/m ³)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (SWWA)	Energia líquida utilizada (kWh/e.p./ano)	SWWA (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Energia padronizada de bombeamento (kWh/m ³ /m)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (SWWA)	Energia vendida (kWh/e.p./ano)	SWWA (-)
1 (IWA)	Aproveitamento energético nas ETEs (%)	IWA (wOp19)
1 (SWWA)	Consumo de fonte de carbono para desnitrificação (kg DQO /e.p./ ano e kg DQO/kg N desnitrificado)	SWWA (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Consumo específico de agente coagulante no espessamento e desidratação do lodo (kg ingrediente ativo/ton. sólido seco)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (LNEC)	Armazenamento de produtos químicos (dia)	LNEC (wtER23)
1 (LNEC)	Consumo de ácidos e bases (eq./m ³)	LNEC (wtRU04)
1 (ISO)	Utilização de resíduo	ISO 24511 (-)
1 (LNEC)	Autonomia energética (%)	LNEC (wtER49)

Tabela A.9 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Adequação com a Capacidade, objetivo Sustentabilidade da Infraestrutura.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
3 (ISO, <i>Austrian System</i> , <i>Six Cities</i>)	Capacidade de utilização do tratamento de esgotos (taxa de carga atual x capacidade do projeto)	ISO 24511 (-)
	Utilização da capacidade (%)	<i>Austrian System</i> (-)
	Volume de esgoto tratado por capacidade instalada de tratamento * 100	<i>Six Cities</i> (-)
1 (LNEC)	Adequação a capacidade da planta (%)	LNEC (wtER13)
1 (LNEC)	Adequação da capacidade mássica em SST	LNEC (wtER17)
1 (LNEC)	Adequação da capacidade mássica em DBO5 (%)	LNEC (wtER15)

Tabela A.10 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Operação, objetivo Sustentabilidade da Infraestrutura.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
1 (LNEC)	Calibração de dosadores de reagentes	LNEC (wtER44)
1 (LNEC)	Equalização das taxas de vazão (%)	LNEC (wtER9)
1 (LNEC)	Interrupção do funcionamento de aeradores	LNEC (wtER46)
1 (LNEC)	Interrupção do funcionamento de motobombas (> 30 min)	LNEC (wtER54)
1 (LNEC)	Interrupção do funcionamento de equipamentos-chave devido a falhas de energia	LNEC (wtER50 – Rosa et. al.)
1 (ISO)	Número de falhas em estações de tratamento de esgotos dentro do limite permitido	ISO 24511 (-)
1 (LNEC)	Resposta a emergência (min / evento de emergência)	LNEC (wtSa03)
1 (LNEC)	Supervisão do tratamento (%)	LNEC (wtER32.i)
1 (LNEC)	Tempo médio para conserto de falhas (hora/falha)	LNEC (wtER47)

Tabela A.11 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Manutenção de Equipamentos, objetivo Sustentabilidade da Infraestrutura.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
1 (LNEC)	Controle da recirculação (%)	LNEC (wtER28)
1 (UNB)	Número de intervenções de manutenção/1000 hab. de projeto	UNB (-)
1 (LNEC)	Reciclagem de bombas com controle automático	LNEC (wtER27)

Tabela A.12 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Constituição do Sistema, objetivo Sustentabilidade da Infraestrutura.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
2 (UNB, LNEC)	Área da ETE/1000 hab. projeto	UNB (-)
	Área ocupada pelo tratamento (m ² /m ³)	LNEC (wtPD02)
1 (UNB)	Número de motores elétricos/1000 habitante de projeto	UNB (-)
1 (IWA)	Potência de bombeamento utilizada na ETE (%)	IWA (wPh9)
1 (Austrian System)	Tempo de desidratação do lodo (h/d)	Austrian System (-)
1 (Austrian System)	Tempo de execução do espessamento do excesso de lodo (h/d)	Austrian System (-)
1 (Austrian System)	Tempo de residência na digestão anaeróbia (d)	Austrian System (-)
1 (Austrian System)	Tempo de retenção hidráulica da sedimentação primária (h)	Austrian System (-)

Tabela A.13 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Inspeção, objetivo Sustentabilidade da Infraestrutura.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
2 (LNEC)	Inspeção de motobombas [n.º/(motobomba.ano)]	LNEC (wtER35.1)
	Motobombas inspecionadas (%)	LNEC (wtER35.2)
2 (LNEC)	Inspeção de bombas [Nº/(bomba x ano)]	LNEC (wtER33.1)
	Bombas inspecionadas (%)	LNEC (wtER33.2)
1(IWA)	Frequência de inspeção de EE (-/ano)	IWA (wOp10)
1 (LNEC)	Inspeção de aeradores (%/ano)	LNEC (wtER34.2)
1(LNEC)	Inspeção de equipamento de transmissão de sinais (-/ano)	IWA (wOp16)
1(LNEC)	Inspeção de equipamentos elétricos (-/ano)	IWA (wOp17)
1(LNEC)	Inspeção de meio filtrante (Nº/filtros biológicos x ano)	LNEC (wtER39.0a)
1 (IWA)	Inspeção do sistema de emergência (-/ano)	IWA (wOp15)

Tabela A.14 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Eficiência econômica, objetivo Sustentabilidade Econômica.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
13 (SWWA, UNB, LNEC, <i>Austrian System</i>)	Custo ajustado de operação total e líquido (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Custo de operação total e líquido (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Custo de operação total e líquido (coroa sueca/kg PCO removido)	SWWA (-)
	Custo de Operação/ habitante atual	UNB (-)
	Custo de Operação/ kg de DQO removida	UNB (-)
	Custo de Operação/ m ³ tratado	UNB (-)
	Custo unitário operacional ajustado (Euro/m ³)	LNEC (wtFi03)
	Principais custos operacionais (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Rendimento unitário operacional ajustado (Euro/m ³)	LNEC (wtFi01)
	Taxa de cobertura dos custos operacionais (-)	LNEC (wtFi09)
	Taxa de cobertura dos custos operacionais ajustados (-)	LNEC (wtFi10)
	Custo específico do processo (Euro/e.p.-DQO110)	<i>Austrian System</i> (-)
	Custo operacional total e líquido (coroa sueca/m ³ de consumo de água faturado)	SWWA (-)
6 (LNEC, SWWA, <i>Austrian System</i> , IWA)	Custo com energia elétrica (Euro/m ³)	LNEC (wtFi05.1)
	Custo de energia elétrica (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Custo específico de energia (Euro/e.p.-DQO110)	<i>Austrian System</i> (-)
	Custo específico de energia (Euro/kWh)	<i>Austrian System</i> (-)
	Custos com energia elétrica (%)	LNEC (wtFi06)
5 (SWWA, LNEC, <i>Austrian System</i> , IWA)	Custos de energia elétrica (%)	IWA (wFi13)
	Custo de serviços externos exceto serviços de laboratório e descarte de lodo (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Custo de serviços terceirizados (%)	LNEC (wtFi05)
	Custo específico externo (terceirizados) (Euro/e.p.-DQO110)	<i>Austrian System</i> (-)
	Custos de serviços externos (%)	IWA (wFi12)
	Custos dos serviços de apoio (%)	IWA (wFi24)

Continua.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
5 (SWWA, <i>Six Cities</i> , LNEC)	Custo de polímeros (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Custo de precipitantes (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Custo de reagentes por m ³ de esgoto tratado	<i>Six Cities</i> (-)
	Custo com aquisição de reagentes e meios de enchimento	LNEC (wtFi06 - Rosa)
	Custo de serviços externos de laboratório (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
4 (<i>Austrian System</i>)	Custo específico de tratamento de resíduos (Euro/e.p. – DQO110)	<i>Austrian System</i> (-)
	Custo específico de tratamento de resíduos (Euro/ton. lodo úmido)	<i>Austrian System</i> (-)
	Custo específico de tratamento de resíduos (Euro/ton. de material removido nos desarenadores)	<i>Austrian System</i> (-)
	Custo específico de tratamento de resíduos (Euro/ton. de material retido nas grades)	<i>Austrian System</i> (-)
4 (SWWA, IWA, <i>Austrian System</i>)	Custo de pessoal operacional (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Custo de pessoal total (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Custos de pessoal (%)	IWA (wFi11)
	Custo específico de trabalho (Euro/e.p.-DQO110)	<i>Austrian System</i> (-)
3 (<i>Six Cities</i> , IWA)	Custo do m ³ de esgoto tratado	<i>Six Cities</i> (-)
	Custo unitário total por e.p. (US\$/e.p./ano)	IWA (wFi5)
	Despesas com tratamento dos esgotos (%)	IWA (wFi21)
2 (IWA, <i>Austrian System</i>)	Outros custos correntes (%)	IWA (wFi15)
	Outros custos específicos (Euro/e.p. - DQO110)	<i>Austrian System</i> (-)
2 (SWWA, IWA)	Custo de peças sobressalentes e outros consumíveis (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
	Custos de materiais, reagentes e consumíveis (%)	IWA (wFi14)
2 (<i>Austrian System</i>)	Custo específico para condicionamento de lodo [Euro/t-(excesso) lodo-lodo úmido]	<i>Austrian System</i> (-)
	Custo específico para condicionamento de lodo [Euro/t-agente condicionador]	<i>Austrian System</i> (-)
1 (SWWA)	Todos os custos de administração e central (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
1 (LNEC)	Avaliação do custo corrente do terreno (Euro/m ³)	LNEC (wtPD04)
1 (SWWA)	Custo de aquecimento (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
1 (SWWA)	Custo de disposição final de lodo (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
1 (UNB)	Custo de Energia e de Produtos Químicos/ kg de DQO removida	UNB (-)
1 (SWWA)	Custo de fonte de carbono (coroa sueca/e.p./ano)	SWWA (-)
1 (UNB)	Custo de Implantação/ habitante de projeto	UNB (-)
1 (UNB)	Custo de Manutenção/ habitante atual	UNB (-)
1 (<i>Six Cities</i>)	Custo de operação e manutenção por m ³ de esgoto tratado	<i>Six Cities</i> (-)
1 (<i>Austrian System</i>)	Custo específico de material (Euro/e.p.-DQO110)	<i>Austrian System</i> (-)
1 (IWA)	Despesas com monitoramento de qualidade dos esgotos (%)	IWA (wFi23)

Tabela A.15 – Indicadores de desempenho da literatura associados ao critério Informações, objetivo Relacionamento Adequado com a Comunidade.

Número de IDs similares (entidades)	Indicador de Desempenho	Entidade (código do ID)
1 (WSAA)	Divulgação pública da eficiência das estações de tratamento	WSAA (E6)
	Reclamações (Nº/ano)	LNEC (wtER50)
3 (IWA, LNEC)	Outras reclamações e pedidos de esclarecimento (Nº/1000 habitantes/ano)	IWA (wQS27)
	Reclamações devido ao funcionamento da ETE	LNEC (wtER52)
1 (IWA)	Reclamações relativas a odores (Nº/1000 habitantes/ano)	IWA (wQS23)