



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Karine Marinho do Nascimento Dias

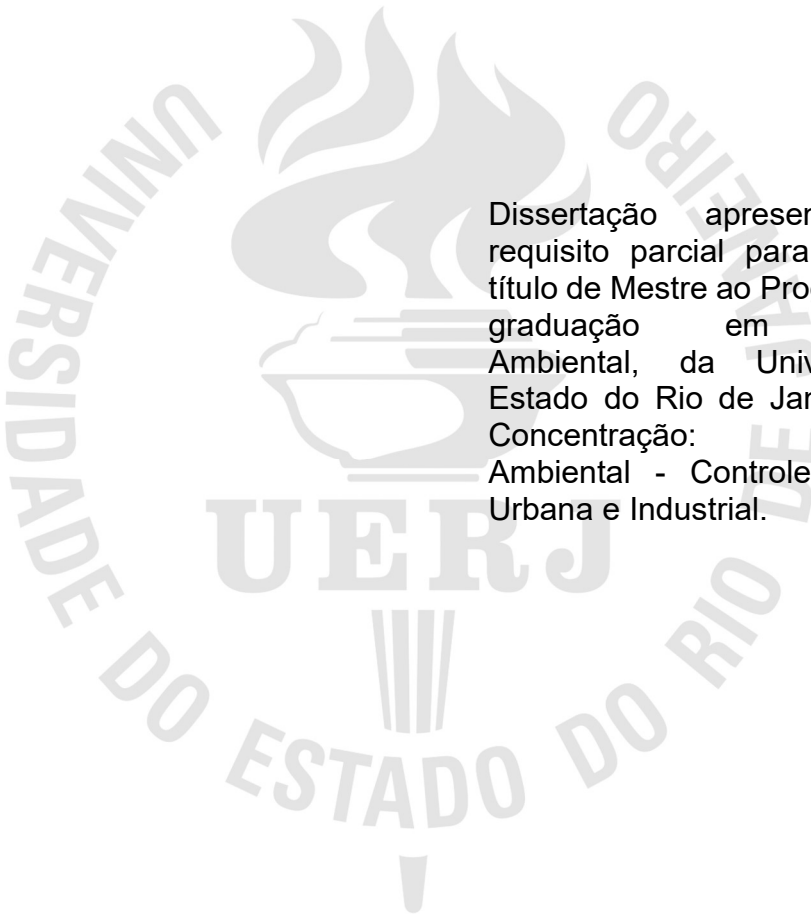
**Ferramenta estatística para controle de estações de tratamento de
efluentes industriais**

Rio de Janeiro

2019

Karine Marinho do Nascimento Dias

Ferramenta estatística para controle de estações de tratamento de efluentes industriais



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Gandhi Giordano

Rio de Janeiro

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

D541 Dias, Karine Marinho do Nascimento.
Ferramenta estatística para controle de estações de
tratamento de efluentes industriais / Karine Marinho do
Nascimento Dias. – 2019.
84f.

Orientadores: Gandhi Giordano.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Água - Estações de
tratamento - Teses. 3. Controle de qualidade da água - Teses. 4.
Instrumentos de medição - Teses I. Giordano, Gandhi. II.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de
Engenharia. III. Título.

CDU 628.1

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial
desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Karine Marinho do Nascimento Dias

Ferramenta estatística para controle de estações de tratamento de efluentes industriais

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovada em 11 de dezembro de 2019.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gandhi Giordano (Orientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Marcelo Obraczka
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof.^a Dra. Nathalia Salles Vernin Barbosa
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Harley Moraes Martins
Instituto Federal do Rio de Janeiro - IFRJ

Rio de Janeiro

2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu Deus, aos meus pais, Wilson e Etelvina, ao meu amor, João Victor e a flor da minha vida, minha amada filha Amanda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu senhor Jesus por mais uma etapa cumprida. Agradeço ao meu professor Dr. Gandhi Giordano por toda a colaboração, orientação e, acima de tudo, por acreditar em mim frente a tantas intempéries ocorridas. Agradeço aos professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental da UERJ, principalmente pelo apoio frente à minha gestação. À minha querida professora Dirlane Carmo, pelo apoio em toda a minha caminhada. Ao meu colega e cooperador João Paulo, da TECMA, por toda ajuda durante esse processo. Aos meus colegas da UERJ das turmas 2017 e 2018, pela rede de apoio engrandecedora que formamos.

Agradeço aos meus pais Wilson e Etelvina, por todo apoio durante minha formação. Ao meu amor, João Victor, pelo apoio incondicional, por não me deixar desistir, por ser meu melhor amigo. Agradeço em especial, por uma pessoa que chegou a minha vida aos 07 de junho de 2019, e fez tudo mais valer a pena: Amanda, lutei muito para a conclusão deste mestrado também por você, para que um dia você veja que com Deus, dedicação, esforço e grandes amigos, tudo é possível. As minhas amigas Luciana, Daniele, Maria Thereza, Michelle e Isabella; e aos meus sogros Carlos Eduardo e Valéria: muito obrigada por cuidarem da Amanda enquanto eu trabalhava na dissertação.

Aos meus irmãos da Igreja de Cristo que oraram por mim. São tantos que não consigo nomeá-los aqui, mas cada um de vocês recebe meu carinho e agradecimento.

Agradeço aos demais colegas e professores que colaboraram com esta obra.

Que Deus abençoe a cada um de vocês grandemente!

Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida; e habitarei na casa do Senhor por longos dias.

Salmos 23:6
Bíblia Sagrada

RESUMO

DIAS, Karine Marinho do Nascimento. *Ferramenta estatística para controle de estações de tratamento de efluentes industriais*. 2019. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

Industrialmente, a água pode ser utilizada em diversos momentos, tais como a incorporação ao produto, lavagens de máquinas, tubulações, pisos, entre outros (GIORDANO e SURERUS, 2015). Com a necessidade de controle dos efluentes antes do lançamento aos corpos hídricos, segundo a legislação brasileira, faz-se necessário o tratamento de efluentes industriais. Nesse sentido, as ETEIs devem monitorar os padrões de qualidade estabelecidos por leis em relação ao efluente industrial, para atendimento das restrições e limites impostos pela licença ambiental. Frequentemente o controle da estação é feito através de diversas planilhas e relatórios de forma individualizada e não sistematizada. O objetivo deste trabalho é a produção de uma ferramenta estatística capaz de analisar, através da medição indireta da matéria orgânica presente no efluente, a eficiência de uma estação de tratamento de efluentes industriais em relação à DBO e DQO, tendo como estudo de caso um condomínio de indústrias de alimentos na cidade do Rio de Janeiro. A metodologia foi baseada na aplicação de uma ferramenta estatística utilizando o *software* EXCEL, mediante os seguintes passos: imputação dos dados originais, análise descritiva exploratória, aplicação de cartas de controle, análise da eficiência da estação, produção de alerta de baixa de eficiência, apresentação dos resultados e a geração de um relatório final. Como conclusão, o resultado foi favorável em relação aos objetivos do trabalho, permitindo com que o usuário tenha, apenas em um programa, a compilação das análises indiretas da matéria orgânica e geração da eficiência da estação. Em relação ao estudo de caso, a estação apresentou eficiência acima de 97% em todos os dias analisados. Abaixo de 98% houve quatro resultados de DBO e um resultado de DQO. O sistema identificou a data dessas análises, bem como filtrou os resultados em si, alcançando os objetivos propostos.

Palavras-chave: Efluentes industriais; Estatística; Eficiência.

ABSTRACT

DIAS, Karine Marinho do Nascimento. *Statistical tool for control of industrial wastewater treatment plants*. 2019. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

Industrially, water can be used at various times, such as incorporation into the product, machine washes, pipes, floors, among others (GIORDANO and SURERUS, 2015). With the need to control effluents before being discharged into hydraulic bodies, according to Brazilian legislation, the treatment of industrial effluents is necessary. In this sense, the ETEs must monitor the quality standards established by laws regarding industrial effluent, to comply with the restrictions and limits imposed by the environmental license. Often the control of the station is done through several spreadsheets and reports in an individualized and non-systematic way. The objective of this research is the production of a statistical tool able to analyze, through indirect measurement of the organic matter present in the effluent, the efficiency of an industrial effluent treatment plant in relation to BOD and COD, having as case study a condominium of food industries in the city of Rio de Janeiro. The methodology was based on the application of a statistical tool using the EXCEL software, by the following steps: imputation of the original data, exploratory descriptive analysis, application of control charts, station efficiency analysis, low efficiency alert production, presentation results and the generation of a final report. As a result, the tool obtained positive results, allowing the user to have, in only one program, the compilation of indirect analyzes of organic matter and generation of station efficiency. Regarding the case study, the station presented efficiency above 97% in all analyzed days. Below 98% there were four BOD results and one COD result. The system identified the date of these analyzes, as well as filtered the results themselves, achieving the objectives of the work.

Keywords: Industrial effluents; Statistics; Efficiency.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Eficiência de DBO e DQO	51
Gráfico 2- Valores da Média DBO	55
Gráfico 3: Valores da Média- DQO.....	55
Gráfico 4- Valor de efluente tratado – DBO.....	56
Gráfico 5- Valor de efluente tratado – DQO	56
Gráfico 6- Carta de controle – Efluente tratado DBO	57
Gráfico 7- Carta de controle - Efluente tratado DQO.....	58
Gráfico 8- Eficiência da DBO.....	59
Gráfico 9- Eficiência da DQO	59
Gráfico 10- Análise descritiva para DBO	70
Gráfico 11- Efluente Bruto – DBO	70
Gráfico 12- Saída do Primário – DBO	71
Gráfico 13- Saída do Anaeróbio – DBO	71
Gráfico 14- Saída do Aeróbio – DBO	72
Gráfico 15- Efluente Tratado – DBO	72
Gráfico 16- Valores da média – DQO.....	73
Gráfico 17- Efluente Bruto – DQO.....	73
Gráfico 18- Saída do Primário – DQO.....	74
Gráfico 19- Saída do Anaeróbio -DQO.....	74
Gráfico 20- Saída do Aeróbio- DQO.....	75
Gráfico 21- Efluente Tratado – DQO	75
Gráfico 22- Carta de controle – Efluente Bruto DBO.....	76
Gráfico 23- Carta de controle – Saída do Primário – DBO.....	76
Gráfico 24- Carta de controle – Saída do Aeróbio – DBO.....	77
Gráfico 25- Carta de controle – Saída do Anaeróbio – DBO.....	77
Gráfico 26- Carta de controle – Efluente Tratado – DBO	78
Gráfico 27- Carta de controle – Efluente Bruto – DQO	78
Gráfico 28- Carta de controle – Saída do Primário – DQO	79
Gráfico 29- Carta de controle – Saída do Anaeróbio – DQO.	79
Gráfico 30- Carta de controle – Saída do Aeróbio – DQO	80
Gráfico 31- Carta de controle – Efluente Tratado – DQO.....	80

Gráfico 32- Eficiência DBO.....	81
Gráfico 33-Eficiência DQO	81
Gráfico 34-Eficiência 2012	82
Gráfico 35- Eficiência 2013	82
Gráfico 36- Eficiência 2014	83
Gráfico 37- Eficiência 2015	83
Gráfico 38- Eficiência 2016	84
Gráfico 39: Eficiência 2017.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Padrões de lançamento de efluentes	22
Tabela 2- Eficiência de DQO abaixo do esperado.	60
Tabela 3- Análise descritiva para DBO e DQO	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Exemplo de carta de controle	33
Figura 2- Fluxograma ETEI	36
Figura 3- Produção do relatório de análises da ETEI de alimentos.....	37
Figura 4- Pontos de coleta de amostras utilizados.....	39
Figura 5- Aba “Intro”	44
Figura 6- Inserção de dados de DBO	45
Figura 7- Inserção de dados de DQO	46
Figura 8- Aba “Descritiva_Tabela”	47
Figura 9- Aba “Descritiva_Gráfico”	48
Figura 10- Aba “Carta_de_Control” parte 01	49
Figura 11- Aba “Carta_de_Control” parte 02	49
Figura 12- Cálculo de eficiência, com indicador de baixa eficiência.....	50
Figura 13- Aba “Alerta de baixa Eficiência”	52
Figura 14- Aba “Resultados” -gráficos de eficiência da DBO e DQO	52
Figura 15- Aba “Relatórios” - valores de média anual do efluente	53
Figura 16- Relatório final do sistema ETEI <i>Control</i>	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIA	Associação Brasileira das Indústria da Alimentação
API	Application Programming Interface
CEP	Controle Estatístico de Processo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBOC	Demanda Bioquímica de Oxigênio Carbonáceo
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETEI	Estação de Efluentes Industriais
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
JUSE	Union of Japanese Scientists and Engineers
LC	Limite central
LIC	Limite inferior de controle
LSC	Limite superior de controle
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PDCA	Plan - Do - Check- Act
RAE	Relatórios de Acompanhamento de Efluentes Líquidos
SLAP	Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras
SST	Sólidos Suspensos Totais
TECMA	Empresa de Tecnologia em Meio Ambiente
TQC	Total Quality Control
UASB	Reator anaeróbio de fluxo ascendente

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
Objetivos	17
1 REFERENCIAL TEÓRICO	18
1.1 A indústria de alimentos no Brasil	18
1.2 Efluentes na indústria alimentícia	18
1.3 Legislação ambiental.....	19
1.3.1 <i>Parâmetros aplicados ao controle de ETEI</i>	21
1.3.2 <i>Parâmetros de efluentes na indústria de alimentos</i>	23
1.4 Estatística aplicada a Engenharia Ambiental.....	23
1.5 Conceito de qualidade: breve histórico.....	28
1.6 Controle estatístico de processo	30
1.7 Cartas de controle	31
2 METODOLOGIA.....	35
2.1 Caracterização da área de estudo.....	35
2.2 Controle atual da ETEI.....	37
2.3 Série histórica de monitoramento da ETEI.....	38
2.4 Considerações sobre a eficiência da estação.....	40
2.5 Estrutura da ferramenta	40
2.5.1 <i>Entrada dos dados</i>	40
2.5.2 <i>Análise descritiva exploratória</i>	41
2.5.3 <i>Cartas de Controle</i>	42
2.5.4 <i>Eficiência da Estação</i>	42
2.5.5 <i>Resultados do processo</i>	43
2.5.6 <i>Relatório e conclusão</i>	43
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.1 Produção da ferramenta.....	43
3.1.1 <i>Entrada dos dados</i>	43
3.1.2 <i>Análise descritiva e exploratória</i>	46
3.1.3 <i>Cartas de Controle</i>	48
3.1.4 <i>Eficiência da Estação</i>	50
3.1.5 <i>Alerta de baixa eficiência</i>	51

3.1.6 Resultados e relatórios	52
3.1.7 Relatório	53
3.2 Análise e resultados	54
3.2.1 Ferramenta estatística	54
3.2.2 Análise da ETEI	54
CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS.....	62
ANEXOS	69

INTRODUÇÃO

Elemento essencial para a sobrevivência do ser humano, a água se tornou um bem de alto valor social e econômico. Acompanhando essa valorização, as regulamentações jurídicas a respeito da água, em todos os níveis hierárquicos, vêm sendo reformuladas, principalmente em função dos questionamentos sociais sobre a importância desse recurso natural (AITH, 2015).

Uma classificação geral dos usos da água é relacionada aos usos consultivos, relativos à retirada da água do corpo hídrico para abastecimento doméstico, industrial, irrigação e aquacultura, apresentando requisitos mais restritos de qualidade; e não consultivos, que se referem à navegação, recreação, harmonia paisagística, entre outros (HERRERA, 2019).

Em relação aos usos consultivos, mais especificamente o uso industrial, o relatório “Consumo sustentável: manual de educação e meio ambiente”, afirma que, dentro das utilizações por setores, a indústria corresponde por 22% do consumo de água total, utilizando em sua maioria, água limpa (BRASIL, 2005).

Giordano e Surerus (2015) apontam que, industrialmente, a água pode ser utilizada em diversos momentos, tais como a incorporação ao produto, lavagens de máquinas, tubulações, pisos, entre outros. Segundo os autores, as águas tornam-se contaminadas nas indústrias por estarem em contato com os resíduos industriais, dentre outros fatores.

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da resolução CONAMA 357/2005, posteriormente alterada pela CONAMA 430/2011, dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. A legislação expõe as normas a serem alcançados para o descarte de efluentes em corpos hídricos.

Os efluentes líquidos, ao serem despejados com os seus poluentes característicos, causam a alteração de qualidade nos corpos receptores e, conseqüentemente, a sua poluição (BRAGA, 2002).

Neste sentido, o correto descarte dos efluentes produzidos industrialmente é de grande importância, não somente para o meio ambiente como para todos os atores envolvidos, tais como os empreendedores e a população do entorno. Essa atenção ocorre principalmente em virtude da população, fauna e flora no entorno que é direta

ou indiretamente impactada quando os efluentes não atendem às normas estabelecidas por lei (CAMPOS, 2002). Dessa maneira, a existência das Estações de Tratamento de Efluentes Industriais- ETEI - é crucial para que os efluentes estejam em conformidade com as legislações vigentes.

As ETEIs são conglomerados de processos químicos, físicos e biológicos, pertencendo a uma cadeia de equipamentos em série, capazes de tratar o efluente de forma que o descarte nos corpos hídricos esteja dentro dos padrões legais (GIORDANO e SURERUS, 2015).

As ETEIs monitoram parâmetros de qualidade de acordo com a solicitação dos órgãos ambientais, em atendimento as leis que regem o setor (GIORDANO e SURERUS, 2015). Para o melhor controle e possibilidade de modelagem dos dados da estação de tratamento, podem ser utilizadas análises estatísticas, observando as séries históricas com o objetivo de auxiliar o controle do processo.

O presente trabalho pretende aperfeiçoar a gestão do processo de tratamento de ETEIs, através da criação de uma ferramenta estatística capaz de auxiliar o gerenciamento da análise indireta da matéria orgânica. Para isso, aplicou o conceito de Controle Estatístico de Processo (CEP), por meio de da utilização de Cartas de Controle, tendo como base os dados de uma ETEI que recebe efluentes oriundos de um condomínio de fábricas de alimentos no Estado do Rio de Janeiro.

Atuando sobre as reais causas de falhas no sistema, o gestor da estação terá possibilidade de agir mais rapidamente sobre as causas, resolvendo as inconsistências e desvios encontrados no processo de maneira eficiente.

Com a aplicação de controle estatístico, também pode ser aumentado o tempo de vida útil da ETEI, dependendo do uso correto ou não da mesma.

A introdução do presente trabalho apresentou a motivação para o desenvolvimento do mesmo e uma breve descrição do conteúdo do trabalho.

No capítulo um apresenta-se o referencial teórico, contendo o resumo de teses e discussões relevantes ao tema baseadas em conclusões de outros autores.

No capítulo dois encontra-se a metodologia utilizada no trabalho, detalhando-se o processo definido para a realização da pesquisa.

No capítulo três são descritos os resultados obtidos através da aplicação da metodologia e sua discussão.

A conclusão contém as avaliações finais obtidas ao longo de toda análise.

Objetivos

Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho é a produção de uma ferramenta estatística capaz de analisar, através da medição indireta da matéria orgânica presente no efluente, a eficiência de uma estação de tratamento de efluentes industriais, no que tange à redução de DBO e DQO, tendo como estudo de caso um condomínio de indústrias de alimentos na cidade do Rio de Janeiro.

Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- I. Com a utilização da análise descritiva e exploratória dos dados gráficos, produzir relatórios para uma melhor compreensão dos fenômenos existentes;
- II. Analisar o comportamento da série histórica das amostras, produzindo uma ferramenta estatística em *software* EXCEL,
- III. Elaborar cartas de controle para verificar a ocorrência de falhas e outros eventos raros nos processos;
- IV. Analisar os resultados obtidos nas etapas anteriores

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 A indústria de alimentos no Brasil

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos- ABIA, os grandes destaques do Brasil em 2017 foram a colocação do país como produtor e exportador mundial de suco de laranja, seguido pelo posto de segundo produtor e maior exportador mundial de carne e maior produtor e exportador de açúcar no mundo. Ainda outros destaques foram a colocação do Brasil como segundo lugar em exportação mundial de café solúvel, também o segundo exportador mundial de soja e o segundo exportador mundial de alimentos processados, em volume de produção (ABIA, 2018).

Toda essa produção gerou um montante de US\$33,4 bilhões em alimentos processados e um fechamento da balança comercial do ano em torno de US\$67,0 bilhões. O valor de faturamento alcançou a marca de R\$ 642,6 bilhões, um aumento de 4,6% em relação ao ano anterior. Os responsáveis por essa marca foram os alimentos (81%) e as bebidas (19%) (ABIA, 2018).

A indústria da alimentação também foi a maior empregadora na indústria da transformação em número de empregos diretos, com 1,6 milhão de empregos. Atualmente a indústria processa 58% da produção agropecuária do país e representa, em alimentos processados, cerca de 49% das exportações do agronegócio de alimentos e 17,9% das exportações totais brasileiras (ABIA, 2018).

1.2 Efluentes na indústria alimentícia

Na indústria de alimentos ocorre também a produção de efluentes em grande quantidade. A produção de alimentos, em suas diferentes etapas, dependendo de cada particularidade do produto em desenvolvimento, coopera para a geração de efluentes (DE RESENDE et. al, 2012). Lavagens e desinfecções de equipamentos e utensílios de cocção, limpeza de pisos, materiais e embalagens contendo óleos e gorduras, lubrificação de correias e transportadoras corroboram para a produção de efluentes com alto teor de poluentes (DEON et. al, 2011).

Entretanto, o tratamento dos resíduos poluidores nas indústrias de alimentos não se caracteriza por uma equação de fácil resolução. Cada indústria possui particularidades no processo, que muitas vezes dificultam a padronização no tratamento dos efluentes (SILVA e MARIA, 2016). As variáveis no processo são muitas, desde diferentes matérias primas até os diversos tipos de processos de produção, assim como condições climáticas, disponibilidade de água local, entre outros (PARENTE, 2002).

1.3 Legislação ambiental

A legislação ambiental é um importante requisito a ser analisado para um projeto de uma estação de efluentes industriais. Ela trata da administração de determinada atividade humana, seja esta empresarial ou não, visando otimizar o uso de recursos ambientais, minimizar os impactos negativos derivados da atividade e cumprir as legislações vigentes. Sendo assim, é possível afirmar que a legislação ambiental corrobora com a realização da correta gestão ambiental, atendendo diretamente as exigências legais (DOS SANTOS PEIXOTO, 2018).

Referente a este assunto, a CONAMA n° 357/2005, posteriormente alterada para CONAMA n° 30/2011 enfatiza o correto destino dos efluentes. No seu Art.7º. a resolução reitera a atuação do órgão ambiental em estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias possivelmente presentes ou a serem formadas nos processos produtivos, através de norma específica no licenciamento da atividade ou empreendimento (BRASIL, 2011).

A resolução CONAMA n° 357/2005 dispõe ainda 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 (BRASIL, 2005).

Sobre a medição indireta da matéria orgânica, a demanda bioquímica de oxigênio – DBO - mede indiretamente a matéria orgânica presente pelo consumo de oxigênio. É definida como a quantidade de oxigênio necessária para que os micro-organismos biodegradem a matéria orgânica contida em um litro de amostra, em tempo definido e na temperatura de incubação de 20°C. O tempo de incubação da DBO é normalmente de 5 dias (DBO₅), mas há estudos que determinam a DBO em 20 dias (DBO₂₀). Atualmente a DBO obtida em intervalo de tempo de 60 a 90 dias é

determinada como DBO total. Quando se lê DBO está implícito que essa é de 5 dias na temperatura de 20°C, sendo o resultado expresso em mgO₂/L (GIORDANO e SURERUS, 2015).

Já a DQO, demanda bioquímica de oxigênio, representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente por via enérgica a matéria orgânica contida em 1 litro de amostra. O método de determinação de DQO ocorre na temperatura próxima de 150°C em meio ácido e utiliza o íon dicromato como oxidante forte. O resultado também é expresso em mgO₂/L. Normalmente, o resultado de DQO é utilizado para a avaliação da matéria orgânica em efluentes industriais, esgotos sanitários e em corpos receptores (GIORDANO e SURERUS, 2015).

Em geral, a DQO apresenta resultados maiores que os da DBO, porque engloba a matéria orgânica biodegradável na forma dissolvida e coloidal e outros materiais biodegradáveis como diâmetros maiores, além da matéria orgânica não biodegradável. Nos efluentes industriais, ocorrem grandes variações na concentração de matéria orgânica, relativa à solubilidade, biodegradabilidade e toxicidade às bactérias, ocasionando diferenças significativas entre DBO e DQO (GIORDANO e SURERUS, 2015).

Segundo Nuvolari et al. (2003), pelo fato de oxidar os compostos orgânicos não biodegradáveis e, em certos casos, compostos inorgânicos para uma mesma amostra, o valor da DQO é sempre maior que o da DBO. A grande vantagem da DQO, com relação à DBO é o tempo de execução. Enquanto o teste da DBO demora cinco dias para ser executado, o teste da DQO é feito em cerca de 3 horas apenas.

No Estado do Rio de Janeiro, os parâmetros para controle de carga orgânica em efluentes são DBO e DQO, conforme estabelecido pela legislação. Em relação à carga de DBO, a eficiência necessária está relacionada a duas faixas: até 100Kg DBO/dia, 70% de eficiência e acima de 100Kg DBO/dia, 90% de eficiência. Em relação ao controle da concentração, há uma tabela na qual a tipologia da indústria é o indicador (GIODARNO e SURERUS, 2015).

Já a Diretriz 205 R.6 (INEA, 2007) trata do controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial. A diretriz é referente ao estabelecimento do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP, incluindo exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução de matéria orgânica biodegradável de origem industrial, matéria orgânica não biodegradável de origem industrial e compostos orgânicos de origem industrial.

Estes compostos interferem nos corpos d'água e na operação de sistemas biológicos de tratamento implantados pelas indústrias e pelas operadoras de serviços de esgoto (MILOSKI, 2015). Com relação ao parâmetro DQO, os efluentes de indústrias alimentícias - exclusive pescado - com vazão maior do que 3,5 m³/dia, devem apresentar valores menores que 400 mg/L ou 8,0 kg/dia (INEA, 2007).

Por fim, a DZ-942.R-7 – Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos, que estabelece as diretrizes do Programa de autocontrole de efluentes líquidos – PROCON ÁGUA, no qual os responsáveis pelas atividades poluidoras informam regularmente ao INEA, por intermédio do Relatório de Acompanhamento de Efluentes Líquidos – RAE, as características qualitativas e quantitativas de seus efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP (INEA, 1991).

Através da referida diretriz, é possível encontrar as descrições de cálculos de vazão média simples, número de dados de vazão obtidos por mês, número de amostras coletadas por mês, vazão diária, concentração diária, carga média mensal, dentre outros aspectos normativos. Também estão discriminadas as frequências de medições e coletas de efluentes para análise que devem ser feitas, de acordo com as respectivas vazões.

1.3.1 Parâmetros aplicados ao controle de ETEI

Vários parâmetros são utilizados para analisar a qualidade do efluente em vários pontos da estação, como vistos na tabela 1. Dentre esses, a resolução do CONAMA n° 430/2011 aponta pH temperatura, materiais sedimentáveis, vazão, óleos e graxas, óleos minerais, óleos vegetais e gorduras animais, DBO, DQO e mais uma lista de vários componentes químicos como importantes para a medição. Estabelecidos pela resolução, os valores dos parâmetros não devem ter seus limites ultrapassados.

Tabela 1- Padrões de lançamento de efluentes

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Exceto em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr ⁺⁶
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr ⁺³
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano (1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Enóis totais (reage com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L

Xileno

| 1,6 mg/L

Fonte: BRASIL,2011.

1.3.2 Parâmetros de efluentes na indústria de alimentos

No caso das indústrias de laticínios, os efluentes podem ser considerados com responsáveis pela poluição gerada. O soro é uma das principais fontes de poluição devido ao seu elevado potencial poluidor, sendo aproximadamente cem vezes maior do que do esgoto doméstico. Uma fábrica com produção média de 300.000 litros de soro por dia polui o equivalente a uma cidade com 150.000 habitantes (DA SILVA, 2011).

Pelos seus valores nutricionais e elevadas cargas orgânicas, o soro juntamente com o leiteiro (resíduo da fabricação da manteiga) e o leite ácido, devem ser captados e conduzidos de forma diferenciada dentro da indústria.

No caso da indústria de pães e bolos, as variações entre a DBO e DQO podem ser atribuídas aos sólidos suspensos (farinha de trigo, amido, óleos e gorduras e outras matérias-primas). A aplicação de saneantes, utilizados nas linhas de produção, acentuam significativamente as diferenças dos valores de DBO e DQO (GIORDANO e SURERUS, 2015).

1.4 Estatística aplicada a Engenharia Ambiental

Um engenheiro é alguém que resolve problemas de interesse da sociedade, pela aplicação eficiente de princípios científicos. Devido a muitos aspectos da prática da engenharia envolverem análises com grandes quantidades de dados, o conhecimento de estatística é importante para a atuação do engenheiro (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Segundo Milan (2011), a estatística é uma ciência que “desenvolve e disponibiliza métodos e técnicas para lidarmos com números.” É possível que haja uma transformação da apresentação dos dados mais complexos de análise, possibilitando a extração de informações que podem ser utilizadas para guiar decisões dos gestores (MILAN, 2011).

Bussab (2004), clássico autor na área de Estatística Básica, entende que a essência da Ciência está na observação de fenômenos e tem como objetivo básico

um dos métodos mais conhecidos da estatística que é a inferência, sendo dedutiva quando são feitos argumentos das premissas às conclusões, ou quando, por meio dela, se vai do específico ao geral, conhecida como inferência indutiva.

Dentre as diversas áreas de estudo da Estatística, a análise descritiva é aquela que descreve ou resume as variáveis de um conjunto de informações. A sua base é a descrição e algumas das suas aplicações são: o uso de medidas de tendência central, como a média, mediana e moda, e variabilidade ou dispersão, como a variância e simetria (BUSSAB, 2004).

Já a estatística indutiva ou inferencial é parte de um conjunto ou subconjunto de informações -subconjuntos da população ou amostra- e conclui sobre a população. A área da estatística referente à teoria da probabilidade proporciona uma base racional para lidar com situações influenciadas por fatores que envolvem o acaso (VIEIRA, 2003).

Para a análise das séries históricas, com o objetivo de verificar o comportamento dos dados ao longo do tempo, com suas tendências, variações e possíveis valores discrepantes, é possível utilizar o *software* Excel. Atualmente tem sido frequente o uso de linguagens de programação para as análises estatísticas. A linguagem de programação R é considerada a língua franca da análise de dados (MIZUMOTO et al., 2016). Inicialmente utilizada para análises estatísticas e gráficas, acabou por englobar funções e pacotes de outras linguagens, como C++, Python, JAVA, entre outros.

Na área de Engenharia Ambiental, é de grande importância o aproveitamento adequado dos dados levantados em trabalhos experimentais ou observacionais, como programas de monitoramento, controle operacional e pesquisa (VON SPERLING, 1996).

Inúmeras são as aplicações da estatística à engenharia ambiental. Podendo ser de fiscalização das operações ambientais, tratamento dos dados primários de pesquisa e monitoramento, auxiliando a gestão ambiental em diversos momentos (MILAN, 2011).

Também para a área de controle de ETEI, a estatística aplicada pode auxiliar o controle de estações de tratamento como ferramentas de avaliação dos dados, promovendo a correlação entre parâmetros que tenham significado sanitário, de maneira que possam indicar melhorias ao processo em estudo (MILONE et. al., 1995).

Além disso, muitas vezes o controle dos efluentes que chegam à ETEI pode indicar falhas no processo de produção da indústria. No caso da indústria de alimentos, pode-se citar a liberação de maior quantidade de açúcar no efluente, demonstrando desperdício do material durante o processo de fabricação do alimento. Esse tipo de controle é necessário e muitas vezes não realizado.

Como exemplo prático, pode-se citar o trabalho de Oliveira (2007), sobre dados na área de controle de estações de tratamento. O objetivo do trabalho citado era, através do método utilizado pela autora, que relaciona a concentração média dos constituintes do efluente (valor de projeto) com os valores limites a serem cumpridos por leis, manter a concentração média do efluente abaixo de um valor previamente determinado, baseando-se em análises probabilísticas.

Neste intuito, as metas e o percentual de atendimento esperado de lançamento de efluentes foram determinados a partir dos valores de coeficientes de confiabilidade calculados (OLIVEIRA, 2007).

Para a realização deste trabalho, a autora utilizou as análises obtidas por Oliveira (2006), no qual foram avaliados, de forma abrangente e aprofundada, cerca de 50.000 dados operacionais de 208 ETEs dos estados de Minas Gerais e São Paulo, compreendendo 21 processos de tratamentos.

A avaliação teve como enfoque principal o desempenho das tecnologias de tratamento de esgotos, considerando o alcance a diversas metas de qualidade para o efluente, a influência de condições operacionais e a confiabilidade (OLIVEIRA, 2006).

Esse número expressivo de dados, assim como a grande variedade de artigos gerados a partir dos mesmos, podem exemplificar as possibilidades que surgem quando dados de boa qualidade podem ser armazenados e utilizados em análises estatísticas aplicadas à engenharia ambiental.

Já no trabalho de Wasik et al. (2018) observa-se o controle estatístico de qualidade e a melhoria da estação de tratamento de águas residuais, onde foram abordados cinco características da qualidade da água, utilizando técnicas de controle de qualidade estatística aplicadas aos dados reais de 2014, coletados para uma estação de tratamento de água localizada no Estados Unidos.

O autor utilizou o programa Minitab 17, que analisou as seguintes características: nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), pH, sólidos suspensos totais (SST), a demanda bioquímica de oxigênio carbonáceo (DBOC) ou DBO e Temperatura.

A análise estatística utilizada no trabalho apontou onde as discrepâncias estavam localizadas, assim como as problemáticas a serem resolvidas nos anos subsequentes. Esta pesquisa também identificou quais ferramentas foram mais úteis em determinar as discrepâncias visuais através do Minitab 17.

Outro exemplo a ser observado foram os problemas discutidos por Rosental e Dmitruk (2014), acerca do controle de qualidade das águas residuais, visando uma estimativa de índices quantitativos, com erros em nível tolerável.

O cronograma do empreendimento estudado previa medições periódicas da concentração de nitrogênio amoniacal, cloretos, pH e DQO (duas vezes ao dia), metais (medidos mensalmente) e derivados de petróleo e sulfatos (três vezes ao mês). Os resultados das medições apresentadas mostraram que a concentração de nitrogênio amoniacal no efluente variou de 3 a 20 vezes acima do esperado.

Visando analisar a confiabilidade do sistema de tratamento de água residual, Rosental e Dmitruk (2014), discorrem sobre informações representativas com baixas taxas de erro, as quais são impactadas por defeitos de mensuração e outras falhas relacionadas a imprecisão do nível de pureza do processo.

Rosental e Dmitruk (2014) utilizaram a metodologia de testes estatísticos de homogeneidade dos dados. Esses testes são utilizados quando se pretende testar se os dados associados às categorias de uma das variáveis comportam-se de modo homogêneo ou similar nas diversas classes ou populações definidas pelas categorias da outra variável classificatória.

Com esta metodologia foi possível aperfeiçoar a periodicidade da coleta das amostras, estabelecer limites aceitáveis de erros, verificar o nível de instabilidade sazonal, assim como a estabilidade da produção.

Lokhande et. al. (2011) avaliaram a poluição causada por metais pesados tóxicos nos efluentes industriais das águas residuais coletados no cinturão industrial Taloja de Mumbai, Índia. As amostras foram coletadas em períodos quinzenais pela manhã, tarde e noite. As análises abrangeram pH, condutividade elétrica, dureza, salinidade, cloreto, cianeto, fosfato, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, oxigênio dissolvido, DQO e DBO.

O estudo revelou que corantes e tintas oriundos de indústrias farmacêuticas e têxteis são algumas das principais causas para a poluição através de metais pesados no ambiente aquático circundante, com alta concentração de metais pesados tóxicos

nas amostras de efluentes coletadas em diferentes indústrias (LOKHANDE et. al. 2011).

Lokhande et. al. (2011) apontam ainda que esses efluentes industriais através de metais pesados tóxicos, quando liberados no ambiente aquático, entrarão na cadeia alimentar através da magnificação trófica. Os resultados do referido estudo apontam a necessidade de implementação de políticas públicas e projetos em geral que têm como objetivo a melhora dos métodos de tratamento de águas residuais industriais.

Outros trabalhos sobre este assunto podem ser encontrados em referências que abordam o assunto, tais como Sistemas de Tratamento de águas residuais: modelagem, diagnóstico e controle, por Olsson e Newell (1999), Avaliação estatística multivariada de dados espaciais e variações sazonais da qualidade da água superficial, por Pejman et al. (2009), e outros como Aguado e Rosen (2008), Aguado et al. (2006), Ahmad e Reynolds (1999), Berthouex et al. (1989), Boger (1992), entre outros.

1.5 Conceito de qualidade: breve histórico

Feigenbaum (1994) na década de 1950 cursava seu doutorado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, em inglês: *Massachusetts Institute of Technology – MIT*, quando preparou sua primeira edição do livro *Total quality control* (TQC), que aborda a primeira definição de qualidade. É proposta então, uma estrutura sistêmica e efetiva para integrar esforços relativos ao desenvolvimento, manutenção e melhoria da qualidade, de forma a habilitar áreas essenciais da empresa, tendo como a primeira preocupação atender plenamente às necessidades do consumidor (BALLESTERO-ALVAREZ, 2010).

Segundo o professor Vicente Falconi, o controle da qualidade total (no estilo japonês), aborda a qualidade como uma mudança cultural, uma jornada de longa distância, onde fatores são de suma importância para o seu sucesso: liderança, acompanhamento dos resultados e envolvimento de toda a equipe (CAMPOS, 1995).

Entretanto, o cuidado com a qualidade não é novidade na área industrial. A prática da inspeção sempre foi realizada pelos consumidores, que se caracterizava pelo cuidado com a observação sobre os bens ou serviços daqueles que compravam ou utilizavam dos mesmos (CARVALHO e PALADINI, 2012).

Contudo, geralmente essa análise se voltava para o produto acabado, onde eram encontrados, ou não, produtos e serviços defeituosos em função da inspeção, ideia ainda afastada do conceito de qualidade (LONGO, 1996).

Surge então a fase do controle estatístico, que acompanhou a era da produção em massa. Esta nova fase traduz-se na introdução de técnicas de amostragem e de outros procedimentos de base estatística, assim como termos organizacionais, no aparecimento do setor de controle da qualidade (LONGO, 1996).

Em vários países, onde a produção em massa ganhava importância no cenário industrial, sistemas de qualidade foram sendo esquematizados, melhorados e implantados. Como exemplos, os Estados Unidos iniciaram suas ações desde os anos 40, também o Japão e vários países do mundo (LONGO, 1996).

De acordo com Costa (2005), a partir da década de 50, surgiu a gestão da qualidade, que trouxe uma nova filosofia gerencial adequada a uma nova realidade. Um dos grandes responsáveis pela introdução do conceito de qualidade e defensor da capacidade do controle processual através dos métodos estatísticos foi W.A.

Shewhart, estatístico norte-americano, que desde a década de 20 argumentava sobre a qualidade e a variabilidade encontrada nas áreas de bens e serviços (LONGO, 1996).

Reconhecido mundialmente, Shewhart desenvolveu sistemas capazes de mensurar as variabilidades e auxiliar na gestão da qualidade. Dentre eles estão o conceito de Controle Estatístico de Processo (CEP) e o método PDCA, sigla do inglês que ordena as etapas de “Plan”, “Do”, “Check” e “Action”. O ciclo PDCA é conhecido como uma ferramenta de qualidade que facilita a tomada de decisão. Tem com o objetivo garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência das empresas. (SEBRAE, 2018).

Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão, através da empresa *Japanese Union of Scientists and Engineers* (JUSE) convidou o pesquisador W.E. Deming para expor seus conhecimentos estatísticos. A partir desse trabalho o país iniciou sua revolução empresarial em relação à gerenciamento e qualidade, do qual o Japão desfruta de seu sucesso até hoje. W.E. Deming apresentou 14 pontos para a melhoria da qualidade, abrangendo a necessidade de métodos estatísticos de controle, participação, educação e melhoria objetiva (BALLESTERO-ALVAREZ, 2010).

Durante a crise dos anos 70, a disseminação de informações começou a se tornar fundamental para a gestão dos processos. Variáveis informacionais, socioculturais e políticas passaram a ser partes integrantes da mudança no estilo gerencial. Já nos anos 80, o planejamento estratégico estabelece sua posição consolidada para a gestão estratégica, entretanto ainda não suficiente para atender todas as necessidades do processo (LONGO, 1996).

Segundo Ballestero-Alvarez (2010) o conceito de estratégia compreende o padrão de alocação de recursos que conduz às melhores perspectivas possíveis. De acordo com Bordasch (2009), gestão estratégica prepara todos os integrantes ao gerenciamento em todos os níveis.

Já segundo Motta (2006), a construção das relações entre empresas, fornecedores e clientes deve ser de mútuo apoio, não podendo haver relações conflitantes entre os envolvidos. A qualidade é conceito primordial na cadeia de valor. Sendo assim, nenhuma etapa do processo produtivo deve dar prosseguimento a má qualidade. O efeito desta falta de controle afeta toda a cadeia. Dessa forma, entende-se que a aplicação da qualidade nas indústrias é essencial para o controle das variações durante o processo, otimização de recursos variados e avanço nas

possibilidades de crescimento do processo produtivo, seja ele de produtos ou de serviços (CARAVANTES et al., 2004)

1.6 Controle estatístico de processo

O controle estatístico da qualidade pode ser definido como o conjunto de métodos estatísticos e de engenharia que são usados na medida, no monitoramento, no controle e na melhoria da qualidade. O processo de fabricação tem de ser estável ou capaz de ser repetido e operacional com pouca variabilidade, ao redor do alvo ou dimensão nominal.

O controle estatístico de processo (CEP) é, segundo Kurokawa e Bornia (2002) uma técnica de avaliação da qualidade. É “considerado uma das formas de controle do processo preventivo, conforme Owen (apud Schissatti, 1998). O autor define que o CEP se constitui da utilização de técnicas estatísticas para se controlar o processo. Por técnicas estatísticas entende-se a coleta, representação e análise de dados de um processo” (OWEN, 1989).

Já segundo Montgomery e Runger (2003), CEP é o conjunto de ferramentas utilizado para resolver problemas, que podem ser aplicados a qualquer processo. A aplicação do CEP em tempo real é uma ferramenta poderosa para encontrar a estabilidade de um processo e para melhorar a capacidade através da redução da variabilidade (MONTGOMERY e RUNGER, 2003). Segundo os autores, as ferramentas mais importantes para aplicação do CEP são:

- a) histograma;
- b) gráfico de Pareto;
- c) diagrama de causa e efeito;
- d) diagrama de defeito e concentração;
- e) gráfico de controle;
- f) diagrama de dispersão;
- g) folha de verificação.

Segundo Kurokawa e Bornia (2002), existem algumas causas de variação nos processos, conhecidas como especiais ou aleatórias, que afetam o comportamento do processo de maneira imprevisível, evitando a produção de um padrão. A causa esporádica diferencia-se da causa comum pelo fato de produzir resultado totalmente

discrepante em relação aos demais valores. Já a causa comum é definida como uma fonte de variação que afeta a todos os valores individuais do processo (HERRERO, 2005).

A origem dessa causa tem fontes diversas, sem predominância de uma sobre a outra. Entretanto, um processo é dito sob controle, ou estatisticamente estável, quando somente causas comuns estiverem presentes (KUROKAWA e BORNIA, 2002).

Já Montgomery e Runger (2003) apontam que, em qualquer processo, existirá uma certa quantidade de variabilidade inerente ou natural, independente do processo. Essa variabilidade ou “ruído de fundo” é a soma de diversas pequenas causas, essencialmente inevitáveis. Sendo relativamente pequenos esses ruídos são aceitáveis no desempenho do processo, chamado sistema estável de “causas causais”, estando o processo sob o controle estatístico.

Outras alterações encontradas podem não estar sob o controle estatístico. Em geral, são referentes às máquinas não ajustadas, erros dos operadores, ou matérias primas defeituosas. Tal variabilidade é considerada grande quando comparada ao ruído de fundo, representando uma alteração inaceitável para o desempenho do processo. A essas causas dá-se o nome de causas atribuídas. O processo operando sob as causas atribuídas é considerado fora de controle (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Um dos objetivos do CEP é detectar rapidamente a ocorrência de causas atribuídas ou mudanças no processo, de modo que uma investigação do processo e uma ação corretiva possam ser empreendidas antes que outras unidades do processo sejam afetadas, alterando o resultado da produção. O gráfico ou carta de controle é uma técnica de monitorização do processo, largamente usada para essa finalidade (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

1.7 Cartas de controle

Estabelecidas pelo pesquisador Dr. Walter S. Shewhart, as cartas de controle são capazes de serem utilizadas na melhoria dos processos, uma vez que a maioria deles não opera no estado classificado como “em controle estatístico” (CORRÊA e CHAVES, 2009).

A carta ou gráfico de controle é a ferramenta estatística visual utilizada para avaliar a flutuação de um processo, distinguindo as variações devidas às causas assinaláveis ou especiais das variações causais inerentes ao processo (BALLESTERO-ALVAREZ, 2010).

Segundo Ramos (1997), os gráficos de controle possuem três objetivos básicos: o primeiro é verificar se o processo estudado é estatisticamente estável, ou seja, se não há presença de causas especiais de variação. O segundo é verificar se o processo estudado permanece estável, indicando quando é necessário atuar sobre ele. Já o terceiro seria, segundo Ramos, permitir o aprimoramento contínuo do processo, mediante a redução de sua variabilidade.

Segundo Montgomery (2004), gráficos ou cartas de controle podem ser usados para estimar parâmetros de um processo de produção e determinar a capacidade de um processo atingir as especificações exigidas. Deve-se considerar que o objetivo final do CEP é a eliminação de variabilidade no processo. Apesar de não ser possível eliminar completamente a variabilidade, o gráfico de controle ajuda a reduzi-la tanto quanto possível (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Se o processo estiver sob controle, todos os pontos plotados deverão ter um padrão de comportamento essencialmente aleatório. Um determinado padrão de comportamento não aleatório geralmente aparece em um gráfico de controle por uma razão, e se essa razão puder ser encontrada e eliminada, o desempenho do processo poderá ser melhorado (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

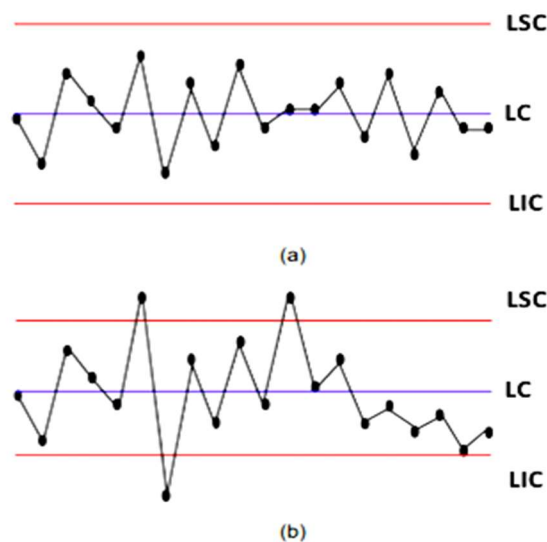
De acordo com Silva et. al. (2014), ferramenta é capaz de detectar anomalias nas variações do processo e administrar estes equívocos, identificando as fontes de variação anormais e suas causas ou fatores particulares. Com os citados fatores particulares previamente identificados pelo CEP, é possível gerar ações de forma a eliminar ou diminuir os danos causados no processo (CORRÊA e CHAVES, 2009), 2009).

Quando uma amostra consiste em mais de uma variável, a estatística descritiva pode ser usada para descrever o relacionamento entre os pares de variáveis. Nesse caso, estatística descritiva inclui: tabulações cruzadas e tabelas de contingência, representação gráfica, via gráfico de dispersão, medidas quantitativas de dependência e descrições de distribuição condicionais. Cartas de controle, distribuição normal e distribuição T de Student também são ferramentas que podem auxiliar grandemente o controle de efluentes nas estações de tratamento (BUSSAB, 2004).

As amostras são, então, selecionadas em intervalos periódicos. O gráfico contém uma linha central (LC) que representa o valor médio da característica da qualidade correspondendo ao estado sob controle, correspondente as causas causais (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Outras duas linhas horizontais são base da ferramenta, conhecidas como limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). Se o processo estiver sob controle, a maioria dos pontos amostrais estará entre esses limites. Ou seja, plotados entre os limites existentes, o processo pode ser considerado sob controle. A figura 1 representa o modelo de carta de controle com suas linhas principais.

Figura 1- Exemplo de carta de controle



Legenda: (a) Sob controle estatístico. (b) Fora do controle estatístico. LSC: limite superior de controle; LC: limite central; LIC: limite inferior de controle.

Fonte: (DE OLIVEIRA, 2013).

Pontos fora do limite estabelecido demonstram que existe necessidade de investigação sobre os pontos de ação corretiva para encontrar e eliminar a causa atribuída ou responsável por este comportamento (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Fazendo um modelo geral sobre a área um gráfico de controle, tem-se W como uma estatística da amostra que mede alguma característica da qualidade de interesse.

Suponha que a média de W seja μ_w e o desvio padrão de W seja σ_w . Neste cenário, a linha central, o limite superior de controle e o limite inferior de controle se caracterizam como descrito a seguir:

$$\text{LSC} = \mu_w + k\sigma_w \quad (01)$$

$$\text{LC} = \mu_w \quad (02)$$

$$\text{LIC} = \mu_w - k\sigma_w \quad (03)$$

Sendo k a distância dos limites de controle a partir da linha central, expressa em unidades de desvio padrão.

Essencialmente, o gráfico de controle é um teste de hipótese de que o processo está ou não em um controle estatístico. Mesmo que todos os pontos estejam dentro dos limites de controle, se eles se comportarem de maneira sistemática ou não aleatória, então esse fato é considerado uma indicação de que o processo está fora de controle (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Sobre este assunto, De Oliveira (2013) afirma que, quando todos os pontos amostrais estiverem dispostos dentro dos limites de controle de forma aleatória, considera-se que o processo está “sob controle”. No entanto, se um ou mais pontos estiverem dispostos fora dos limites de controle, há evidência de que o processo está “fora de controle”.

2 METODOLOGIA

A metodologia se baseou nas análises estatísticas de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais, localizada na Zona Oeste do Rio de Janeiro, que atende a um condomínio de indústrias na área de alimentos produtor de molhos, massas, sorvetes, dentre outros. Além desses, também recebe o esgoto sanitário produzido nas indústrias. O período de análise foi de janeiro de 2012 a janeiro de 2017.

Os valores de DBO e DQO foram analisados em pontos específicos do processo. Após categorização dos dados, foi aplicada a ferramenta de Cartas de Controle, promovendo parte do Controle Estatístico de Processo do condomínio industrial estudado.

Em seguida, foi realizada a análise dos resultados, e a observação de variações ao longo do processo, associada ao histórico da ETEI, através da ferramenta estatística produzida exclusivamente para o presente trabalho. Como resultado, foi gerada uma análise sobre a situação da estação, avaliando os parâmetros identificados como importantes para a mesma.

A referência utilizada para a metodologia do trabalho foi a descrição de carta de controle do livro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 23th (APHA, 2012)

2.1 Caracterização da área de estudo

De acordo com a empresa TECMA, operadora da estação de tratamento em estudo, a estação trata da matéria orgânica em suspensão e dissolvida, avaliando os parâmetros físico-químicos exigidos por lei.

O processo se dá pela seguinte sequência de fases: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento terciário e descarte do lodo biológico e lodo físico-químico.

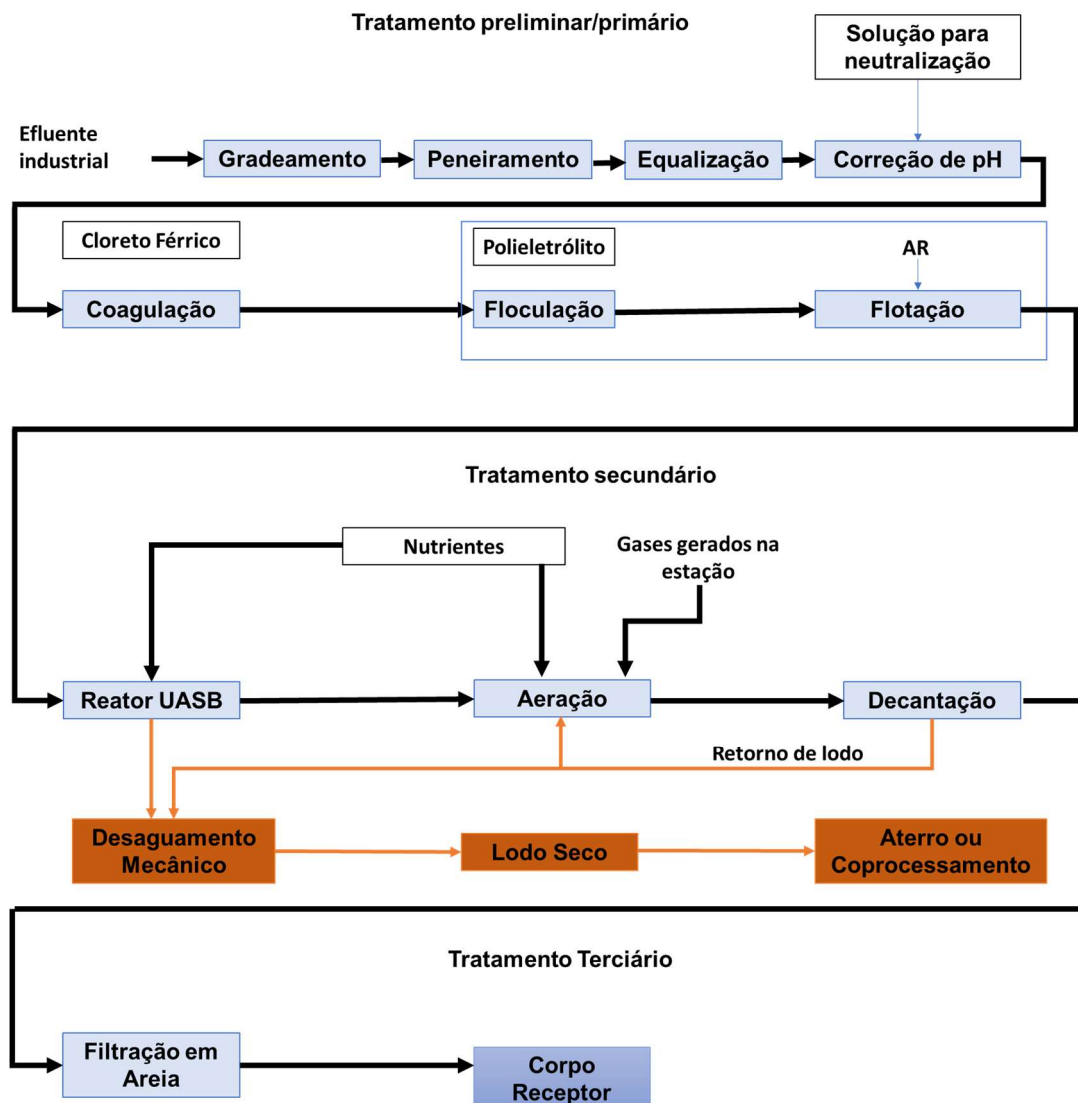
Cada uma das fases será descrita a seguir.

- Preliminar: gradeamento, peneiramento, equalização e controle de vazões;

- Primário: controle e correção de pH, coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido;
- Secundário: formado por reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), reator aeróbio (lodos ativados) e decantação secundária;
- Terciário: através de filtração com areia;
- Tratamento do lodo: condicionamento e desaguamento mecânico com *decanter* centrífuga.

A figura 2 demonstra o fluxograma de produção da ETEI.

Figura 2- Fluxograma ETEI

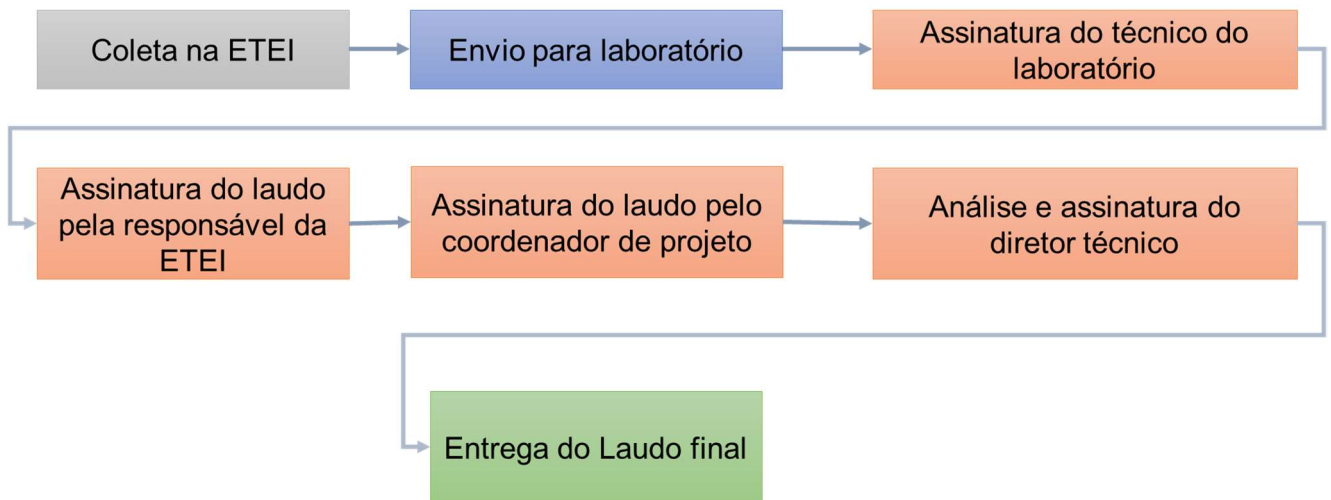


Fonte: A autora, 2019.

2.2 Controle atual da ETEI

Atualmente, a produção do relatório de análises da ETEI é feita de forma não automatizada, tendo sete etapas de produção, de acordo com a sequência descrita na figura 3, a seguir.

Figura 3- Produção do relatório de análises da ETEI de alimentos



Fonte: A autora, 2019.

Inicialmente, a empresa responsável pela operação da estação faz a coleta local e envia as amostras para os laboratórios de análise. O técnico responsável, após a realização dos testes laboratoriais, assina o laudo e o envia para a próxima etapa. O laudo é entregue e assinado pela bióloga responsável pelo controle da estação.

Após isso, o laudo é entregue e assinado pelo coordenador do projeto e, por fim, pelo diretor técnico da empresa. O prazo da avaliação da estação, contendo coleta, testes, análises dos resultados, assinaturas e conclusão do laudo gira em torno de 30 dias, sendo destes, 10 a 15 dias o tempo estimado de duração dos testes em laboratório.

Ressalta-se neste processo a importância de cruzar as informações obtidas no laboratório àquelas ligadas à rotina da estação de tratamento. Todas as informações sobre variações fora de controle devem ser investigadas, através do material descrito no livro de ocorrência e até mesmo entrevistando o operador da estação,

enriquecendo o resultado, com clareza do que ocorreu nos dias de maiores relevâncias para a estação.

Ainda que a análise laboratorial seja feita de maneira padronizada, se ocorrerem erros nas coletas ou nas manipulações inadequadas pelos operadores envolvidos, os resultados devem ser reavaliados. Esses questionamentos devem ser feitos também em outros casos, como fatores externos, tais como a falta de energia elétrica, pane no sistema, controle manual fora do esperado e isolado dentro da estação.

Espera-se então que a rotina de produção da estação, bem como o processo de amostragem seja feito corretamente e, caso contrário, o laboratório deve ter ciência dos problemas ocorridos.

2.3 Série histórica de monitoramento da ETEI

A série histórica da ETEI em estudo atende a um condomínio de indústrias na área de alimentos, no período de janeiro de 2012 a janeiro de 2017. As análises físico-químicas foram realizadas pela empresa TECMA, no Rio de Janeiro. O credenciamento da empresa pelo INEA-Instituto Estadual do Ambiente, está sob o certificado CCL N° IN002298 e acreditado pelo INMETRO-Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, sob o certificado CRL 0200.

Como a medição indireta da matéria orgânica expressa a eficiência da estação, neste período foram monitorados os valores de DBO e DQO em pontos específicos do processo, descritos na figura 4, sendo estes Saída Aeróbio, Efluente Tratado, Efluente Bruto, Saída do tanque Primário, Saída do tanque Anaeróbio e Tanque de Aeração.

Figura 4- Pontos de coleta de amostras utilizados



Fonte: A autora, 2019.

Uma vez por mês foram analisados os cinco pontos acima. Além desses, foram analisados uma vez por semana os pontos de efluente bruto e tratado.

A vazão também foi associada a cada dia de amostragem. Ao longo dos 60 meses, todas as amostras observadas foram inseridas nas planilhas. Destas, foram retiradas da análise em *software* todos os dados faltantes. Assim, foram então analisadas cerca de 720 amostras, dos cinco pontos de coleta dentro da ETEI.

A empresa TECMA analisa, dentre os diferentes pontos da ETEI em questão, diversas substâncias orgânicas e inorgânicas, para o controle da estação. Dentre eles, estão: (a) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), (b) Demanda Química de Oxigênio (DQO), (c) pH do efluente bruto, saída do tratamento primário, saída do UASB, tanque de aeração, saída do reator aeróbio e efluente tratado; (d) Fósforo Total e Nitrogênio Kjeldahl da saída do UASB e efluente tratado; (e) SST e SSV do tanque de aeração; (f) Temperatura, (g) Óleos e Graxas, (h) Nitrogênio Total, (i) Nitrito, (j) Nitrato, e (k) Sólidos Sedimentáveis do efluente tratado.

Após categorização dos dados, foi aplicada a ferramenta de Cartas de Controle, promovendo parte do Controle Estatístico de Processo da indústria estudada.

Os parâmetros DBO e DQO possuem relação com a matéria orgânica presente no efluente. Sendo assim, a análise desses parâmetros pode ser considerada como principal para a classificação de uma ETEI. Com esses parâmetros em análise, há um efetivo controle da matéria orgânica no processo.

2.4 Considerações sobre a eficiência da estação

Foi considerado pelo gestor responsável da ETEI de alimentos que, valores acima de 97% de eficiência seriam aceitáveis para a operação da estação. Porém, os valores de eficiência da estação geralmente variam quando estão entre 97% e 99% e a causa dessa variação é um dos pontos a serem identificados pela ferramenta estatística.

A eficiência encontrada abaixo de 98% será então um dos pontos de interesse da ferramenta, objetivando identificar quais dias esses valores seriam encontrados, uma vez que, identificando os dias de eficiência abaixo de 98%, o gestor da estação pode fazer uma busca nos relatos do dia, procurando obter informações sobre aquele efluente especificamente.

2.5 Estrutura da ferramenta

A ferramenta estatística foi nomeada como “*ETEI Control*”. Foi produzida em *software Microsoft Excel 365*, de acordo com as etapas a seguir:

- a) entrada dos dados;
- b) análise descritiva exploratória;
- c) cartas de controle;
- d) eficiência da estação;
- e) alerta de baixa de eficiência;
- f) apresentação dos resultados;
- g) geração de um relatório final.

2.5.1 Entrada dos dados

Inicialmente, na primeira aba da ferramenta, o usuário insere todos os dados referentes ETEI em referência, solicitados pela ferramenta, tais como: código da Estação, Endereço, Responsável, Data da Operação, Operados, Observações. Desta forma, as informações básicas inseridas no sistema podem auxiliar a organização da manipulação da tabela.

2.5.2 Análise descritiva exploratória

São avaliadas nesta etapa medições referentes a pesquisa descritiva e exploratória do conjunto de dados disponível no sistema. Dentre essas estão os cálculos de média, moda, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação. Além dessas, foram calculados os percentis e quartis de todos os pontos de coleta, em relação à média anual. As medidas de dispersão estão descritas a seguir:

- Quantidade Válida- é a quantidade de resultados válidos utilizados nas análises,
- Mínimo- é o menor valor encontrado no efluente para a estatística analisada,
- Média (\bar{x})- é o valor médio encontrado para a estatística, de acordo com a fórmula a seguir:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \text{ em que } n \text{ é o número de elementos na amostra e } x_i, \text{ cada valor, em que } i = 1, \dots, n \quad (1)$$

- Mediana- é o valor que separa a metade maior e a metade menor de uma amostra:

Para uma quantidade de elementos ímpares temos:

$$\left(\frac{n+1}{n}\right)^i \quad (2)$$

Para uma quantidade de elementos pares temos:

$$\frac{\left(\frac{n}{2}\right)^i + \left(\frac{n}{2}+1\right)^i}{2} \quad (3)$$

- Máximo- é o valor máximo de um conjunto de valores.

$$MÁXIMO(x_1, x_2, \dots) \quad (1)$$

- Desvio Padrão (DP)- medida de dispersão em torno da média amostral de uma variável aleatória.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

- Coeficiente de Variação medida padronizada de dispersão de uma distribuição de probabilidade ou de uma distribuição de frequências.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad (3)$$

2.5.3 Cartas de Controle

Nesta aba serão aplicadas efetivamente as cartas de controle, a partir das informações alocadas nas abas anteriores. As cartas de controle foram produzidas a partir das fórmulas a seguir:

$$\text{Limite Superior de Controle (LSC)} = \bar{x} + ks \quad (1)$$

$$\text{Limite Central (LC)} = \bar{x} \quad (2)$$

$$\text{Limite Inferior de Controle (LIC)} = \bar{x} - ks \quad (3)$$

onde \bar{x} é a média amostral, k é distância dos limites de controle à linha central, expressa em unidades de desvio-padrão e s é o desvio-padrão amostral.

O LSC e o LIC são, respectivamente, o maior e o menor limite aceito pelo processo, de acordo com os desvios-padrão.

2.5.4 Eficiência da Estação

O cálculo de eficiência da estação é feito através da seguinte fórmula:

$$E = \left(\frac{DBO\ entrada - DBO\ saída}{DBO\ entrada} \right) \times 100 \quad (1)$$

2.5.5 Resultados do processo

Sendo processados todos os dados e obtidos os resultados diretos, serão geradas visualizações das cartas de controle as quais permitem discutir os resultados das análises estatísticas do processo.

2.5.6 Relatório e conclusão

O relatório gerado será automatizado, com trechos em textos pré-determinados e coerentes com o resultado obtido. Da mesma forma, a conclusão será a aba que concatenará, de forma concisa, todos os resultados anteriores, concluindo assim as divisões da ferramenta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da ferramenta proposta, os resultados referentes a ETEI foram analisados estatisticamente. São expostas neste capítulo as imagens da planilha, identificando cada uma das abas e suas respectivas funcionalidades.

Os resultados quantitativos, com demonstração dos principais gráficos gerados pela ferramenta estão discriminados no item análise da ETEI. Os demais gráficos produzidos pela ferramenta não inclusos no presente capítulo são apresentados nos Anexos do trabalho.

3.1 Produção da ferramenta

A ferramenta estatística produzida foi feita a partir da sequência descrita na metodologia e seus resultados estão descritos a seguir.

3.1.1 Entrada dos dados

Inicialmente, a primeira aba da ferramenta, intitulada de “Intro”, apresenta a descrição da estação e informações básicas para serem inseridas pelo usuário, como

Código da Estação, Endereço, Cidade, Responsável, Data da Operação, Operador, Observações, como visto na figura 5.

Figura 5- Aba “Intro”



Instruções:

- 1) Preencher o código, endereço e responsável pela ETEI;
- 2) Preencher a data da operação e o nome do operador da planilha;
- 3) Preencher observações que considerar relevantes.

Controle Automático- Estação de Tratamento de Efluente Industrial	
Nome da Estação:	ESTAÇÃO MARACANÃ
Endereço:	AVENIDA DAS ESTAÇÕES, MARACANÃ,
Cidade:	Rio de Janeiro
Responsável:	ENGENHEIRO JOSÉ DA SILVA
Data da operação:	20/12/2017
Operador:	TÉCNICO ANTÔNIO DAS NEVES
Observações:	PROCURO SABER A EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO

Fonte: A autora, 2019.

A segunda e terceira abas, intituladas “In_DBO” e “In_DQO” respectivamente, são as abas reservadas para o usuário inserir os dados referentes à DBO e DQO da estação. Com a sequência de variáveis: Data, Efluente Bruto, Saída do Primário, Saída do Anaeróbio, Saída do Aeróbio, Efluente Tratado, e Vazão. As abas permitem a inserção das informações referentes aos pontos de controle estipulados ao longo do processo de tratamento.

Como pode ser visto nas figuras 06 e 07, nas células devem constar as datas no formato DD/MM/AAAA – data, mês e ano- os dados de DBO e DQO em cada ponto de aferição indicado na legenda. Em caso de valores faltantes, é imprescindível que a célula da planilha esteja em branco.

Figura 6- Inserção de dados de DBO

ETEI Control		DBO					
Inserção de dados. Siga as orientações a seguir.							
1) Insira as datas no formato DD/MM/AAAA;							
2) Insira os dados de DBO em cada tanque indicado;							
3) Para valores faltantes, deixe o espaço em branco.							
DATA	EFL_BRUTO	SAIDA_DO_PRIMARIO	SAIDA_ANAEROBIO	SAIDA_AEROBIO	EFL_TRATADO	VAZÃO	
03/01/2012	1146	637	558	13	17	100	
31/01/2012	1978	733	765	13	16	70	
10/02/2012	1804	1260	759	5	10	50	
07/03/2012	2424	1262	3	54	5	60	
03/04/2012	7734	1941	302	5	14	20	
02/05/2012	3669	754	304	9	21	60	
05/06/2012	1694	550	107	5	9	50	
03/07/2012	2715	785	307	4	3	40	
01/08/2012	2415	585	260	4	5	50	
04/09/2012	2130	300	241	3	3	40	
09/10/2012	1956	400	246	3	3	60	
12/11/2012	1392	299	185	3	3	70	
05/12/2012	1740	599	426	3	3	70	

Fonte: A autora, 2019.

Figura 7- Inserção de dados de DQO

ETEI Control		DQO					
Inserção de dados. Siga as orientações a seguir.							
1) Insira as datas no formato DD/MM/AAAA;							
2) Insira os dados de DBO em cada tanque indicado;							
3) Para valores faltantes, deixe o espaço em branco.							
DATA	EFL_BRUTO	SAIDA_DO_PRIMARIO	SAIDA_ANAEROBIO	SAIDA_AEROBIO	EFL_TRATADO	VAZÃO	
03/01/2012	2417	967	927	15	17	100	
31/01/2012	3773	1093	1006	121	87	70	
10/02/2012	3517	2224	1172	68	63	50	
07/03/2012	4203	2334	1024	59	69	60	
03/04/2012	16830	2165	256	49	44	20	
02/05/2012	4346	1039	320	115	37	60	
05/06/2012	2125	718	175	38	15	50	
03/07/2012	4278	1200	553	60	41	40	
01/08/2012	3250	937	268	15	15	50	
04/09/2012	7972	1216	458	27	15	40	
09/10/2012	5723	1125	703	15	50	60	
12/11/2012	3022	770	412	45	45	70	
05/12/2012	2697	1059	481	281	144	70	

Fonte: A autora, 2019.

3.1.2 Análise descritiva e exploratória

A quarta aba, denominada “Descritiva_Tabela” é referente as análises descritivas sobre o conjunto de observações com as principais medidas de dispersão. Como é possível analisar na figura 8, a aba apresenta a análise de DBO e DQO

Figura 8- Aba “Descritiva_Tabela”

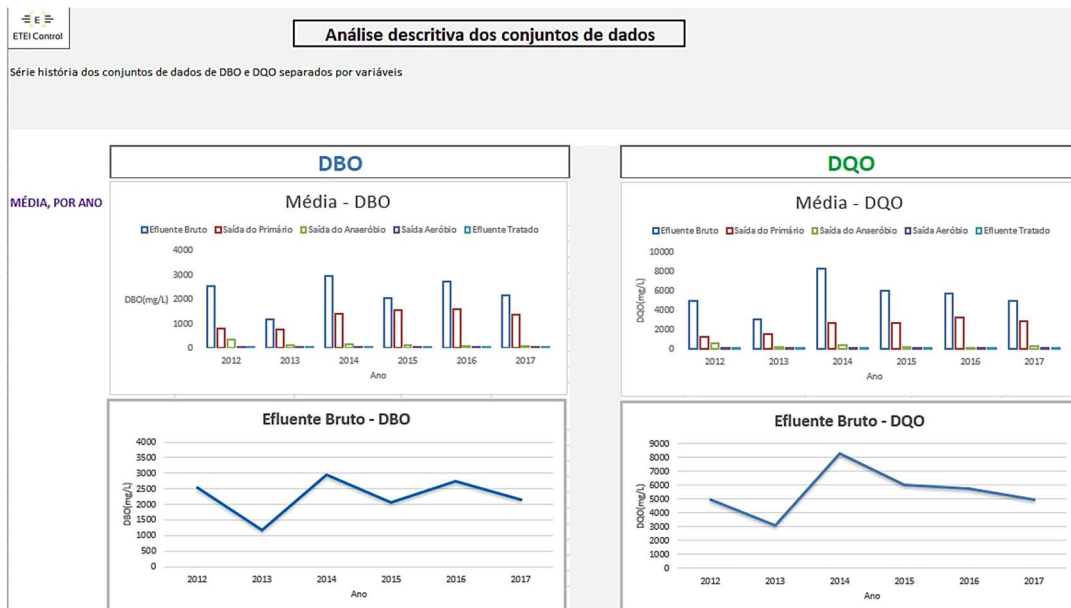
		DBO					DQO				
		EFL_BRUTAIDA_DO_PRIMARIAIDA_ANAEROBAIDA_AEROBFL_TRATADO					EFL_BRUTAIDA_DO_PRIMARIAIDA_ANAEROBAIDA_AEROBFL_TRATADO				
MEDIDAS DE DISPERSÃO											
Quantidade Válida		72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Mínimo		787	152	3	3	3	1455	718	17	5	5
Média		2295	1234	146	7	6	5526	2400	341	59	36
Mediana		1967	1254	98	5	3	4364	2310	246	45	23
Máximo		11990	3335	765	54	38	30480	6036	1400	365	144
Desvio Padrão		1600	620	163	8	7	4244	1084	314	57	31
Coef. Variação		0,70	0,50	1,11	1,12	1,12	0,77	0,45	0,92	0,96	0,84
PERCENTIS											
90%		3449	1942	316	12	14	8790	3540	885	116	69
75%		2723	1629	185	8	5	5766	3053	382	67	44
50%		1967	1254	98	5	3	4364	2310	246	45	23
25%		1424	777	45	3	3	3246	1677	144	27	15
10%		1036	411	9	3	3	2679	1041	66	15	15
MÉDIA ANUAL											
2012		2523	777	343	10	9	4935	1296	597	70	49
2013		1179	750	96	4	3	3079	1549	229	26	16
2014		2953	1412	167	6	4	6292	2554	438	54	36
2015		2061	1545	96	9	8	6057	2597	230	49	29
2016		2731	1582	67	11	8	5774	3231	179	65	56
2017		2146	1347	91	5	3	4977	2928	337	84	27

Fonte: A autora, 2019.

As medidas de dispersão serão analisadas de acordo com os seguintes indicadores: quantidade válida, valor mínimo, média, mediana, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, percentis e quartis de todas as variáveis (90% ,75% ,25%, 10%) e média anual dos anos utilizados (2012 à 2017).

A quinta aba, vista na figura 9, denominada “Descritiva_Gráfico”, apresenta a série histórica dos conjuntos de dados de DBO e DQO separados por variáveis.

Figura 9- Aba “Descritiva_Gráfico”



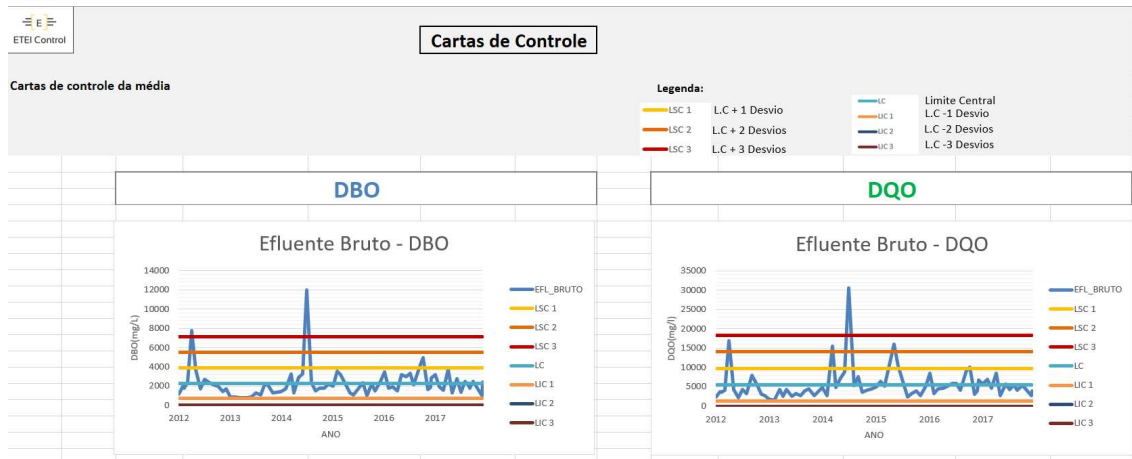
Fonte: A autora, 2019.

Foi produzido um gráfico para cada ponto de coleta analisado, tanto de DBO quanto DQO, demonstrando a média de cada ano analisado.

3.1.3 Cartas de Controle

A sexta aba, denominada “Carta_de_Control” apresenta duas áreas de visualização. A primeira é referente aos gráficos de carta de controle, com os respectivos limites aplicados, indicado como parte 01 da aba “Carta_de_Control”, como observado na figura 10.

Figura 10- Aba “Carta_de_Control” parte 01



Fonte: A autora, 2019.

Já a parte 02, à direita da imagem inicial, é referente as variáveis auxiliares de DBO e DQO, que são as cópias das informações iniciais das abas dois e três. Acrescidas a essas, também são apresentadas as colunas com as variáveis de limites superior e inferior, através de suas respectivas fórmulas, como observado na figura 11.

Figura 11- Aba “Carta_de_Control” parte 02

DIA	MÊS	ANO	MÉDIA-EFL_BRUTO	LSC 1 - EFL_BRUTO	LSC 2 - EFL_BRUTO	LSC 3 - EFL_BRUTO	LIC 1 - EFL_BRUTO	LIC 2 - EFL_BRUTO	LIC 3 - EFL_BRUTO
3	1	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
31	1	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
10	2	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
7	3	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
3	4	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
2	5	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
5	6	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
3	7	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
1	8	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
4	9	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
9	10	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0
12	11	2012	2295	3894	5494	7094	695	0	0

Fonte: A autora, 2019.

Dentro dos cálculos das cartas de controle estão o limite central, intitulado LC, e os limites superiores de controle, a seguir: (a) LSC 1: primeiro limite superior de controle; (b) LSC2: segundo limite superior de controle; (c) LSC3: terceiro limite superior de controle.


Os limites inferiores de controle também foram abordados, a seguir: (a) LIC 1: primeiro limite inferior de controle (b) LC2: segundo limite inferior de controle (c) LC3: terceiro limite inferior de controle. Todos os pontos de coleta foram identificados pelas respectivas variáveis. Assim, cada ponto de coleta possui uma tabela com os cálculos produzidos e o gráfico gerado. Todos os gráficos produzidos estão descritos nos anexos do trabalho.

3.1.4 Eficiência da Estação

Como pode ser visto na figura 12, a aba denominada “Eficiência” apresenta as análises descritivas sobre o conjunto de observações com as principais medidas de dispersão, centralidade e cartas de controle.

Caso o valor esteja abaixo de 98% de eficiência, o sistema identifica este valor com uma coloração vermelha. Este valor de eficiência pode ser alterado pelo usuário e a planilha identificará automaticamente as novas eficiências em coloração vermelha.

Figura 12- Cálculo de eficiência, com indicador de baixa eficiência.

Cálculo de Eficiência				
				
Análises descritivas sobre o conjunto de observações com as principais medidas de dispersão, centralidade e cartas de controle Valores gerados automaticamente				
				Alerta de Baixa Eficiência Abaixo ou igual à 98 % Valores em vermelho na tabela*
DATA	EFL_BRUTO	EFL_TRATADO	Eficiência DBO	Indicador
03/01/2012	1146	17	98,517	
31/01/2012	1978	16	99,191	
10/02/2012	1804	10	99,446	
07/03/2012	2424	5	99,794	
03/04/2012	7734	14	99,819	
02/05/2012	3669	21	99,428	
05/06/2012	1694	9	99,469	
03/07/2012	2715	3	99,890	
01/08/2012	2415	5	99,793	
04/09/2012	2130	3	99,859	
09/10/2012	1956	3	99,847	
12/11/2012	1392	3	99,784	
05/12/2012	1740	3	99,828	
02/01/2013	880	3	99,659	
06/02/2013	848	5	99,410	
DATA	EFL_BRUTO	EFL_TRATADO	Eficiência DQO	Indicador
03/01/2012	2417	17	99,3	
31/01/2012	3773	87	97,7	Baixa Eficiência
10/02/2012	3517	63	98,2	
07/03/2012	4203	69	98,4	
03/04/2012	16830	44	99,7	
02/05/2012	4346	37	99,1	
05/06/2012	2125	15	99,3	
03/07/2012	4278	41	99,0	
01/08/2012	3250	15	99,5	
04/09/2012	7972	15	99,8	
09/10/2012	5723	50	99,1	
12/11/2012	3022	45	98,5	
05/12/2012	2697	144	94,7	Baixa Eficiência
02/01/2013	1792	15	99,2	
06/02/2013	1455	15	99,0	

Fonte: A autora, 2019.

Também são gerados os gráficos de eficiência, tanto da DBO quanto da DQO, observados no gráfico 1. Na área entre os gráficos de eficiência está inserida a seta

denominada “Relatórios”, onde permite ao usuário seguir automaticamente para a próxima aba do sistema.

Gráfico 1- Eficiência de DBO e DQO



Fonte: A autora, 2019.

3.1.5 Alerta de baixa eficiência

A figura 13 demonstra a aba denominada “Alerta de baixa eficiência”, que resume todos os principais resultados descritos na aba anterior, denominada “Eficiência”. Dessa forma, caso um dos valores seja indicado como baixa eficiência, automaticamente as informações sobre data, efluente bruto, efluente tratado e eficiência da DBO aparecerão nesta tabela, resumindo para o usuário quais datas e informações ele deve checar ao procurar solucionar o problema.

Figura 13- Aba “Alerta de baixa Eficiência”

DATA	EFL_BRUTO	EFL_TRATADO	Eficiência DBO	Indicador		DATA	EFL_BRUTO	EFL_TRATADO	Eficiência DQO	Indicador	
03/11/2015	1520	38	97,500	Baixa Eficiência	Relatório de Eficiência Baixa DBO	31/01/2012	3773	87	97,7	Baixa Eficiência	Relatório de Eficiência Baixa DQO
						05/12/2012	2697	144	94,7	Baixa Eficiência	
						04/02/2014	2794	69	97,5	Baixa Eficiência	
						09/11/2016	3076	106	96,6	Baixa Eficiência	

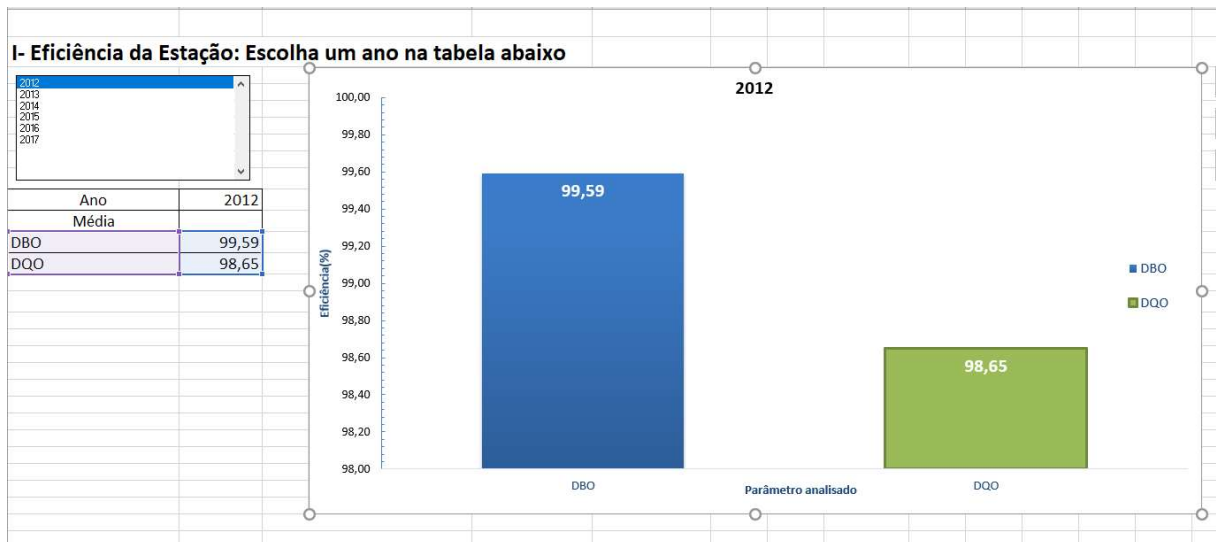
Fonte: A autora, 2019.

Nesta aba foi utilizado o recurso “macro”, do *Excel*, possibilitando o retorno à página anterior.

3.1.6 Resultados e relatórios

A aba “Resultados” apresenta os resultados analíticos do processo, como observado na figura 14. A primeira parte dos resultados é a eficiência da estação, que tem sua demonstração a partir da escolha do ano de análise, feita pelo usuário. Em sequência, são gerados os gráficos de eficiência do ano em questão, expostos em porcentagem.

Figura 14- Aba “Resultados” -gráficos de eficiência da DBO e DQO



Fonte: A autora, 2019.

A segunda parte refere-se aos valores de média anual do efluente, que indicam as médias anuais de DBO e DQO, em cada ano de estudo, como pode ser visto na figura 15.

Figura 15- Aba “Relatórios” - valores de média anual do efluente

II- Valores de Média Anual do Efluente						
Parâmetros	Efluente Bruto					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
DBO, mg/L em O2	2523	1179	2953	2061	2731	2146
DQO, mg/L em O2	4935	3079	8292	6057	5774	4977
Parâmetros	Efluente Tratado					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
DBO, mg/L em O2	9	3	4	8	8	3
DQO, mg/L em O2	49	16	36	29	56	27

Fonte: A autora, 2019.

3.1.7 Relatório

Concluindo a tabela, tem-se a última aba denominada “Relatório”. Nesta, o operador pode gerar um relatório resumido da eficiência da estação, contabilizando os resultados encontrados a partir dos padrões estabelecidos pelo operador do sistema, conforme figura 16.

Figura 16- Relatório final do sistema ETEI Control

ETEI Control

RELATORIO FINAL

Rio de Janeiro
20/12/2017

Em virtude dos dados analisados, o sistema ETEI control considera que, frente ao parâmetro DBO:

Resultado obtido: valor(es) abaixo da eficiência , considerada especificamente relevante pela empresa gestora da estação.

Em virtude dos dados analisados, o sistema ETEI control considera que, frente ao parâmetro DQO:

Resultado obtido: valor(es) abaixo da eficiência , considerada especificamente relevante pela empresa gestora da estação.

Para rever as datas e valores obtidos abaixo da eficiência desejada clique no botão **Resultado**.

Resultado

É indicado ao gestor da estação que providencie o rastreamento do problema local nas datas indicadas.

Assinado:
ENGENHEIRO JOSÉ DA SILVA

Fonte: A autora, 2019.

3.2 Análise e resultados

A partir da produção da ferramenta, foi realizada a avaliação da ETEI segundo o sistema ETEI *Control*. A seguir estão descritos os resultados da produção da ferramenta estatística bem como da situação da ETEI em estudo.

3.2.1 Ferramenta estatística

Através do presente trabalho foi possível gerar uma ferramenta, em *software Microsoft EXCEL*, capaz de analisar automaticamente a eficiência de uma estação de tratamento de efluentes, observando os valores de DBO e DQO.

Seguindo os objetivos estipulados, foi possível produzir, através da análise descritiva e exploratória dos dados gráficos, relatórios para uma melhor compreensão dos fenômenos existentes. Também foi analisado o comportamento da série histórica das amostras, através da ferramenta estatística produzida. Neste ponto, foram produzidas as cartas de controle, com o objetivo de verificar a ocorrência de falhas e outros eventos raros nos processos. Por fim, foram analisados os resultados obtidos nas etapas anteriores.

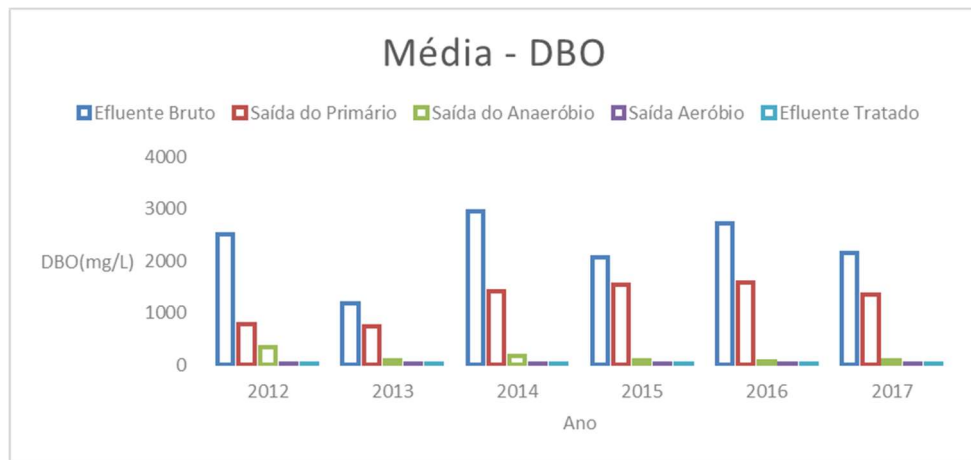
A ferramenta foi produzida com sucesso, identificando os valores de eficiência abaixo de 98%, assim como as datas em que esses valores ocorreram.

3.2.2 Análise da ETEI

Análise descritiva

A partir das análises descritivas, é possível observar os resultados comparativos das médias dos valores de DBO e DQO de todos os anos, como segue nos gráficos 2 e 3.

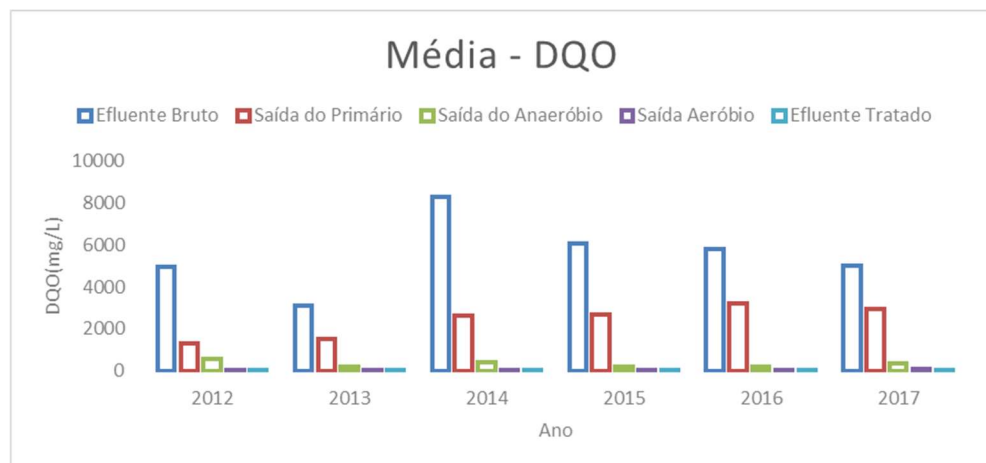
Gráfico 2- Valores da Média DBO



Fonte: A autora, 2019.

É possível observar que, apesar de todos os anos o valor de efluente bruto analisado foi acima de 2000 mg/L, o tratamento possibilitou grande redução nos níveis de DBO, possibilitando resultados altamente expressivos.

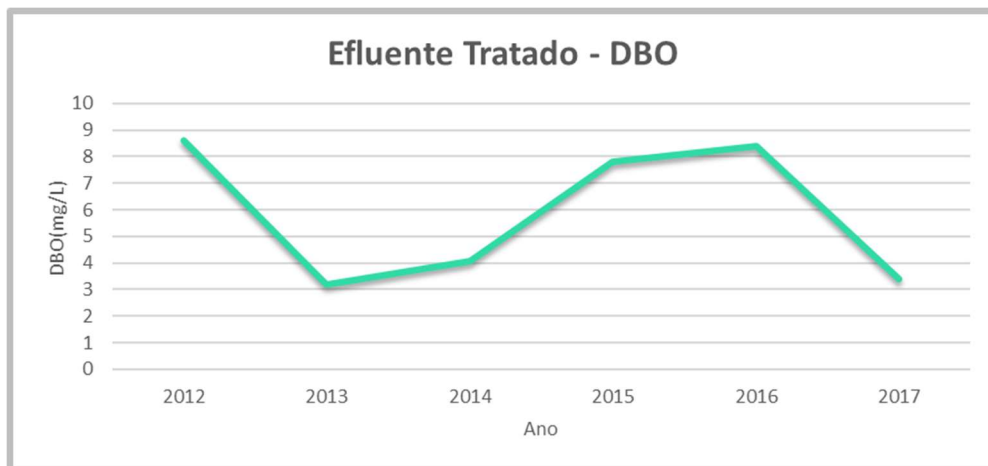
Gráfico 3: Valores da Média- DQO



Fonte: A autora, 2019.

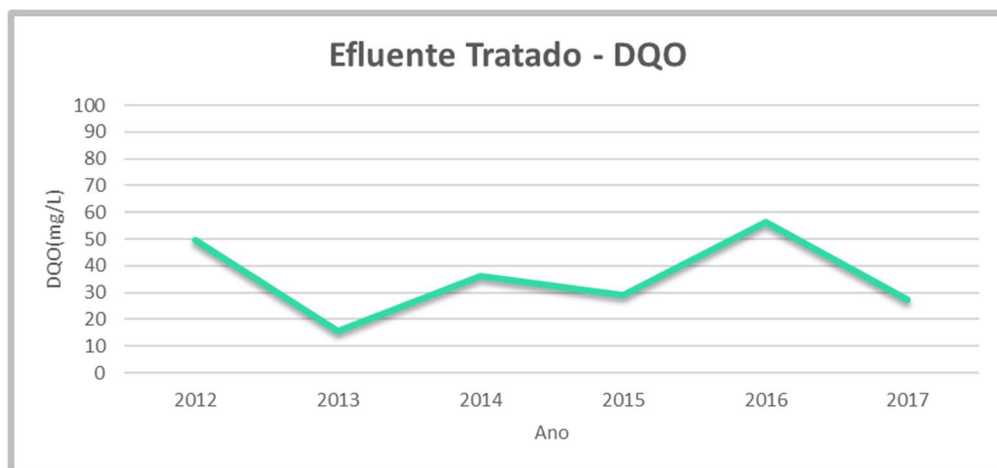
É possível indicar as evidências de eficiência no tratamento pela diferença de escala entre o efluente bruto e o efluente tratado. Entretanto, para melhor avaliação do efluente tratado, observa-se nos gráficos 4 e 5 a real situação do efluente, tanto para DBO quanto DQO.

Gráfico 4- Valor de efluente tratado – DBO



Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 5- Valor de efluente tratado – DQO



Fonte: A autora, 2019.

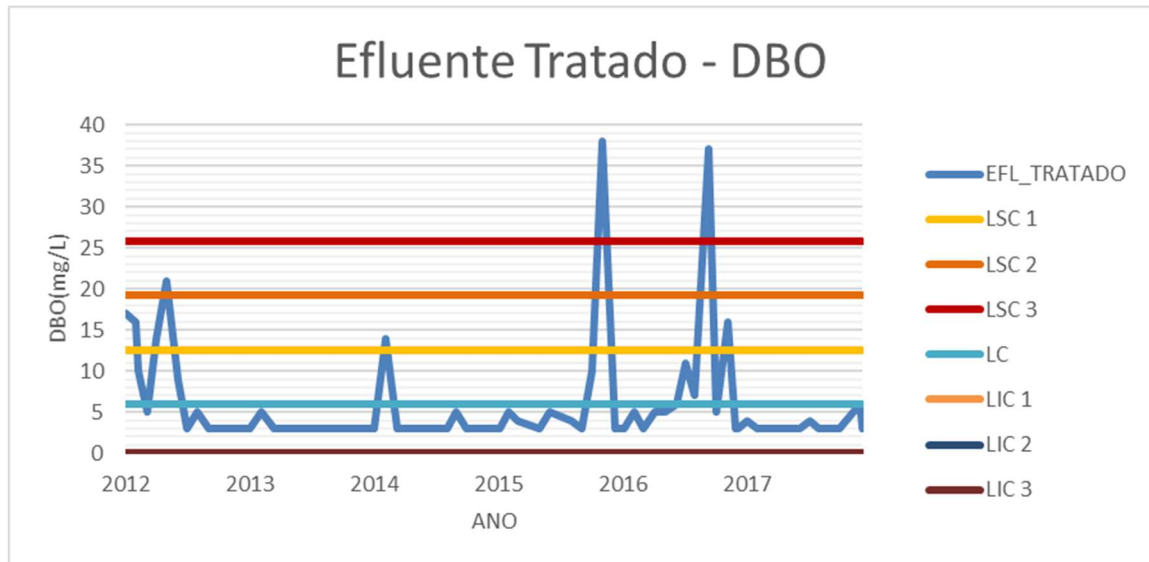
Em ambos os casos, o efluente tratado demonstra a eficácia do tratamento. Em relação à DBO, os valores se mantiveram abaixo de 10 mg/L. Já para DQO, os valores se mantiveram abaixo de 60 mg/L

Cartas de controle

As cartas de controle foram também aplicadas a todos os pontos de coleta e estão descritas na íntegra, em Anexo. Com o objetivo de analisar a resposta final do

processo, seguem os gráficos 6 e 7, que demonstram as cartas de controle do efluente tratado.

Gráfico 6- Carta de controle – Efluente tratado DBO

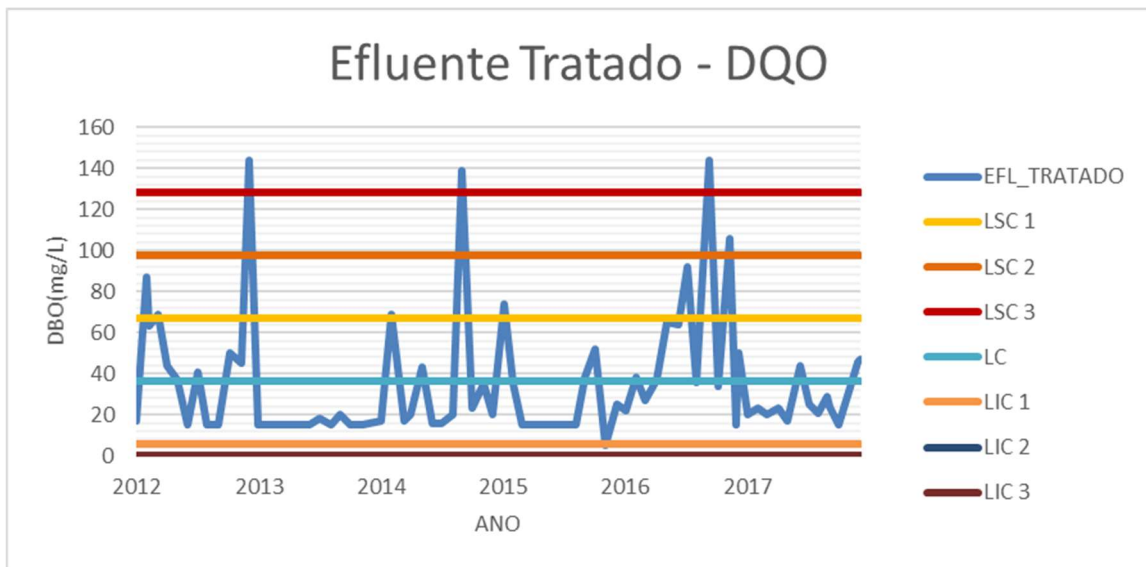


Legenda: LSC 1: Primeiro limite superior de controle; LSC 2: Segundo limite superior; LSC 3: Terceiro limite superior; LC: Limite central; LIC 1: Primeiro limite inferior; LIC 2: Segundo limite inferior; LIC 2: terceiro limite inferior.

Fonte: A autora, 2019.

No gráfico de DBO acima é possível analisar que o valor do terceiro limite de controle foi ultrapassado apenas duas vezes em toda o histórico da análise.

Gráfico 7- Carta de controle - Efluente tratado DQO



Legenda: LSC 1: Primeiro limite superior de controle; LSC 2: Segundo limite superior; LSC 3: Terceiro limite superior; LC: Limite central; LIC 1: Primeiro limite inferior; LIC 2: Segundo limite inferior; LIC 3: Terceiro limite inferior.

Fonte: A autora, 2019.

Já o gráfico de DQO teve o terceiro limite de controle ultrapassado três vezes, ao longo dos cinco anos de observações.

Eficiência:

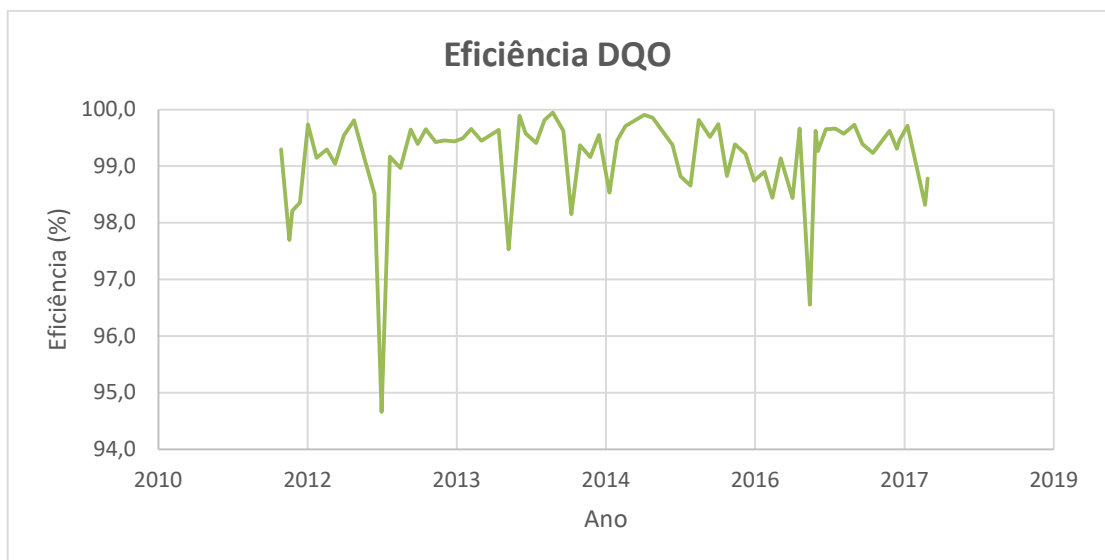
De acordo com os gráficos acima apresentados, o cálculo da eficiência vem corroborar os resultados obtidos. A seguir estão os gráficos 8 e 9 de eficiência de DBO e DQO da estação em estudo.

Gráfico 8- Eficiência da DBO



Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 9- Eficiência da DQO



Fonte: A autora, 2019.

De acordo com o resultado do sistema ETEI *Control*, a estação de tratamento analisada apresentou eficiência alta em todos os anos, tanto nos processos de DBO quanto DQO. Os valores se mantiveram acima de 94% em toda a série histórica analisada.

Sendo o objetivo de o usuário estipular uma pesquisa que identificasse todas as eficiências abaixo de 98%, valor este considerado pela gestora da unidade como sendo apropriado para entrega aos clientes, o sistema através da aba “Relatório” possibilitou a identificação rápida dos valores abaixo de 98%, e assim foi possível a observação das datas em que ocorreram essas eficiências.

Dessa forma, o usuário é capaz de produzir uma pesquisa localizada, nas datas indicadas pelo sistema ETEI *Control*, de forma que as respostas para a situação encontrada nos dias apresentados pelo sistema sejam dadas de maneira mais rápida.

É possível observar que a eficiência de DBO apresentou valor abaixo do esperado somente na data de 03/11/2015, sendo o valor do Efluente bruto de 1502mg/L e o efluente tratado de 38mg/L, gerando uma eficiência de 97%. Já o resultado de DQO apresentou eficiência abaixo do esperado em mais dias, como é visto na tabela 2.

Tabela 2- Eficiência de DQO abaixo do esperado.

Data	Efl_Bruto (mg/L)	Efl_Tratado (mg/L)	Eficiência
31/01/2012	3773	87	97,7
05/12/2012	2697	144	94,7
04/02/2014	2794	69	97,5
09/11/2016	3076	106	96,6

Fonte: A autora, 2019.

Dessa maneira, considera-se que a ETEI analisada tem seus padrões de eficiência em excelente situação e entrega aos clientes uma condição altamente favorável de qualidade da estação. Os demais gráficos gerados pela ferramenta encontram-se nos anexos deste trabalho.

CONCLUSÃO

Sobre a produção da ferramenta, conclui-se que foi apresentado um resultado favorável em relação ao seu objetivo proposto. As análises realizadas pelo sistema ETEI *Control* podem ser feitas para outras estações de tratamento, com as devidas alterações nos dados e indicações de referência em eficiência da qual o usuário deseje observar.

Além disso, sobre a ferramenta estatística produzida é possível incorporar outros parâmetros físico-químicos presentes na rotina de análise da ETEI, porém não contemplados nesse trabalho. Da mesma forma, é possível incorporar outras funções estatísticas, de acordo com a necessidade de cada estação a ser observada.

Em trabalhos futuros, é sugerido que se faça a validação da ferramenta também em outras estações de tratamento. Isso porque diferentes situações podem ser encontradas e a equalização dessas situações através da ferramenta trará um aumento na qualidade da tabela.

Outra sugestão é a codificação do produto criado através do *software Microsoft EXCEL* para linguagens de programação, no qual ele poderá ser efetivamente utilizado como uma *API*, integrando as informações e resultados obtidos a sistemas maiores.

Sobre as observações estatísticas feitas através dos dados da ETEI analisada, comparando com a legislação CONAMA 430/2011, é possível afirmar que, considerando os valores de DBO e DQO, a estação de tratamento de efluentes avaliada neste trabalho atende aos padrões observados pela legislação, com eficiência acima de 94%, no intervalo de avaliação dos dados (anos de 2012 à 2017). Os valores encontrados abaixo de 98% foram identificados, auxiliando o gestor da unidade na busca pelo fator que alterou a eficiência da estação, sendo este interno ou externo à ETEI, alcançando o objetivo do trabalho.

REFERÊNCIAS

ABIA (Brasil). Indústria da Alimentação em 2017. 2018. Disponível em: <<https://www.abia.org.br/vsn/temp/z2018412NumerosdoSetor2017oti.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2018.

AGUADO, D. et al. Comparison of different predictive models for nutrient estimation in a sequencing batch reactor for wastewater treatment. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, v. 84, n. 1-2, p. 75-81, 2006.

AGUADO, D.; ROSEN, C. Multivariate statistical monitoring of continuous wastewater treatment plants. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 21, n. 7, p. 1080-1091, 2008.

AHMAD, S. R.; REYNOLDS, D. M. Monitoring of water quality using fluorescence technique: prospect of on-line process control. *Water Research*, v. 33, n. 9, p. 2069-2074, 1999.

AITH, F. M. A.; ROTHBARTH, R. O estatuto jurídico das águas no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 29, n. 84, p. 163-177, 2015.

APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 2012.

BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. *Gestão de qualidade, produção e operações*. São Paulo: Atlas, 2010.

BERTHOUEX, P. M.; LAI, W.; DARJATMOKO, A. Statistics-based approach to wastewater treatment plant operations. *Journal of Environmental Engineering*, v. 115, n. 3, p. 650-671, 1989.

BOGER, Z. Application of neural networks to water and wastewater treatment plant operation. *ISA transactions*, v. 31, n. 1, p. 25-33, 1992.

BORDASCH, R. W. S. Gestão cartorária: controle e melhoria para a razoável duração dos processos. 2009. Tese de Doutorado.

BRAGA, B. et al. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 311 p., 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Consumo sustentável: manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 160 p., 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional (in Portuguese), 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA 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. Diário Oficial da União, 2011.

BUSSAB, W. de O.; MORETTIN, P. A. Estatística Básica. 5ª edição, São Paulo: Editora Saraiva, 537 p., 2004.

CAMPOS, J. N. B.; COSTA, A. M. da; STUDART, T. M. de C. Alocação e realocação do direito de uso da água: uma proposta de modelo limitado no espaço. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 7, p. 1-12, 2002.

CAMPOS, V. F. TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). Rio de Janeiro. Bloch. 6ª ed. 1995.

CARAVANTES, G. R., PANNO, C. C. et KLOECKNER, M. C. Gestão estratégica de resultados: construindo o futuro. Porto Alegre. AGE. 2004.

CARVALHO, M.; PALADINI, E. Gestão da qualidade: teoria e casos, 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CORRÊA, J. M.; CHAVES, A. N. Estudo do controle e análise da capacidade do processo de produção de água potável. XLI SBPO, pg, p. 1414-1424, 2009.

COSTA, E. A. da. Gestão Estratégica. São Paulo. Saraiva. 2005.

DA SILVA, D. J. P. Resíduos na indústria de laticínios. Série Sistema de Gestão Ambiental. Universidade Federal de Viçosa, 2011.

DE OLIVEIRA, C. C. et al. Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio. Instituto Adolfo Lutz, 1ª edição, São Paulo, 2013.

DE RESENDE, D. S.; DA SILVA BEZERRA, A. C.; DE GOUVEIA, A. M. C. Propriedades mecânicas de compósitos cimentícios produzidos com lodo de estação de tratamento de efluentes da indústria de batata pré-fritas. Rem: Revista Escola de Minas, v. 65, n. 2, 2012.

DEON, M. D. et al. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, n. 10, p. 1149-1156, 2011.

DOS SANTOS PEIXOTO, D. R. A importância da legislação ambiental para a gestão ambiental pública municipal e no setor privado. Revista Internacional de Ciências, v. 8, n. 2, p. 281-285, 2018.

FEIGENBAUM, A. V. Controle da qualidade total. Makron Books, 1994.

GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente UERJ, Rio de Janeiro, 2004.

GIORDANO, G.; SURERUS, V. Efluentes industriais, volume 1: estudo de tratabilidade volume 1.1 ed. Rio de Janeiro: Publit, 2015.

HERRERA, M. V. Sáez et al. Estimativa do dispêndio de água virtual nas exportações brasileiras no período de 2003 a 2014. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 24, n.6, p.1229-1238, 2019.

HERRERO F., E. Balanced Scorecard e a gestão estratégica: uma abordagem prática. Rio de Janeiro, RJ. Elsevier. 2005.

INEA (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE) – Diretriz 205 R.06. Diretriz de Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de origem Industrial. Rio de Janeiro, 2007.

INEA (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE) – INEA: DZ-942.R-7 – Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos – PROCON ÁGUA. Rio de Janeiro, 1991.

KUROKAWA, E.; BORNIA, A. C. Uma proposta para a utilização do controle estatístico do processo (CEP) através da carta “X” como uma ferramenta gerencial para a avaliação da vazão mínima noturna de um setor. Planejamento, projeto e operação de redes de abastecimento de água, 2002.

LOKHANDE, R. S.; SINGARE, P. U.; PIMPLE, Deepali S. Toxicity study of heavy metals pollutants in waste water effluent samples collected from Taloja industrial estate of Mumbai, India. Resources and Environment, v. 1, n. 1, p. 13-19, 2011.

LONGO, R. M. J. Gestão da qualidade: evolução histórica, conceitos básicos e aplicação na educação. 1996.

MILAN, L. A. Estatística aplicada. 2011.

MILONE, G.; ANGELINI, F. Estatística Aplicada. São Paulo: Atlas, 1995.

MILOSKI, J. Caracterização de microbiota envolvida nos processos aeróbios (lodos ativados) e anaeróbios (UASB) de uma indústria de alimentos. 2015. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MIZUMOTO, A.; PLONSKY, L. R as a lingua franca: Advantages of using R for quantitative research in applied linguistics. *Applied Linguistics*, 37 -248-291 p., 2016.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*, 2ª Edição, Rio de Janeiro, Editora LTC, 2003.

MONTGOMERY, D. Melhoria da qualidade no contexto da empresa moderna. In: *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 4ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2004. p. 1-23.

MOTTA, P. R. *Planejamento Estratégico*, Apostila do Projeto de Mestrado Profissional em Poder Judiciário, FGV-Rio, 2006, p. 41.

NUVOLARI, A. et al. *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. 2003.

OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Análise da confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 389-388, 2007.

OLIVEIRA, S. M. A. C. Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 231 f. 2006.

OLSSON, G.; NEWELL, B. *Wastewater treatment systems*. IWA publishing, 1999.

OWEN, M. *SPC and Continuous Improvement*. 1 ed. USA: IFS Publications, 1989.

PARENTE, A. H.; SILVA, E. A. B. Redução de efluentes líquidos na indústria alimentícia. *Revista Química & Tecnologia*, n. 1, p. 58-67, 2002.

PEJMAN, A. H. et al. Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques. *International Journal of Environmental Science & Technology*, v. 6, n. 3, p. 467-476, 2009.

RAMOS, A. W. Controle Estatístico de Processo. In: CONTADOR, José Celso et al. *Gestão de Operações: A Engenharia de Produção a serviço da modernização da empresa*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997.

ROSENTAL, O.; DMITRUK, V. Corpopate quality measurement for analysis of stability of industrial water use and reliability of water control. *Journal of Water Chemistry & Technology*, v. 36, n. 6, 2014.

SCHISSATTI, M. L.; Uma Metodologia de Implantação de Cartas de Shewhart para o Controle de Processos. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1998.

SEBRAE, Nacional. Programa MLT: Formação de multiplicadores para atuação no local de trabalho. Disponível em: <[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/49B285DDC24D11EF83257625007892D4/\\$File/NT00041F72.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/49B285DDC24D11EF83257625007892D4/$File/NT00041F72.pdf)> Acesso em: 31 jul. 2018.

SILVA, T. B., MARIA A. P., et al., INICIAÇÃO CIENTÍFICA PROGRAMA. Avaliação do procedimento de tratamento de efluente industrial empregando adsorventes. IPEN, 2016.

SILVA, T. A. et al. Utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP) na Avaliação de uma Estação de Tratamento de Efluente Agroindustrial. *Revista Virtual de Química*, v. 6, n. 2, p. 310-322, 2014.

VIEIRA, S. Princípios de estatística. Pioneira Thomson Learning, 2003.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 1996.

WASIK, E. et al. Stability Monitoring of the Nitrification Process: Multivariate Statistical Analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 27, n. 5, p. 2303-2313, 2018.

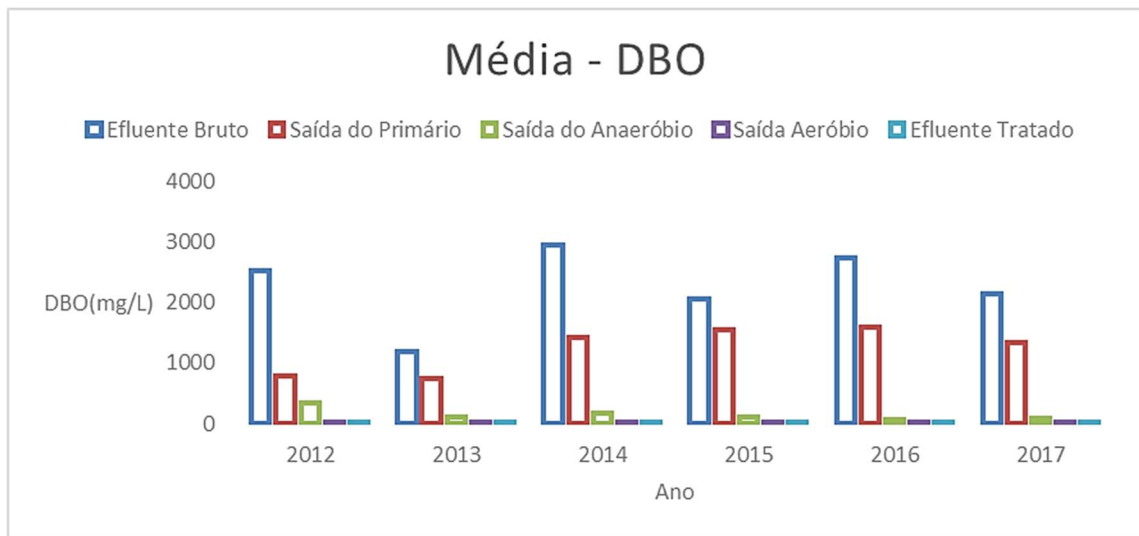
ANEXOS

Tabela 3- Análise descritiva para DBO e DQO

ETE Control		Análise descritiva dos conjuntos de dados									
Análises descritivas sobre o conjunto de observações com as principais medidas de dispersão, centralidade e cartas de controle Valores gerados automaticamente											
DBO						DQO					
EFL_BRUTOAIDA_DO_PRIMARIAIDA_ANAEROBIAIDA_AEROBIFL_TRATADO						EFL_BRUTAIDA_DO_PRIMARIAIDA_ANAEROBIAIDA_AEROBIFL_TRATADO					
MEDIDAS DE DISPERSÃO											
Quantidade Válida											
Mínimo	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Máximo	787	152	3	3	3	1455	718	17	5	5	5
Média	2295	1234	146	7	6	5526	2400	341	59	36	36
Mediana	1967	1254	98	5	3	4364	2310	246	45	23	23
Máximo	11990	3335	765	54	38	30480	6036	1400	365	144	144
Desvio Padrão	1600	620	163	8	7	4244	1084	314	57	31	31
Coef. Variação	0,70	0,50	1,11	1,12	1,12	0,77	0,45	0,92	0,96	0,84	0,84
PERCENTIS											
90%	3449	1942	316	12	14	8790	3540	885	115	69	69
75%	2723	1629	185	8	5	5766	3053	382	67	44	44
50%	1967	1254	98	5	3	4364	2310	246	45	23	23
25%	1424	777	45	3	3	3246	1677	144	27	15	15
10%	1036	411	9	3	3	2679	1041	66	15	15	15
MÉDIA ANUAL											
2012	2523	777	343	10	9	4935	1296	597	70	49	49
2013	1179	750	96	4	3	3079	1549	229	26	16	16
2014	2953	1412	167	6	4	8292	2654	438	54	36	36
2015	2061	1545	96	9	8	6057	2697	230	48	29	29
2016	2731	1582	67	11	8	5774	3231	179	65	56	56
2017	2146	1347	91	5	3	4977	2928	337	84	27	27
CARTAS DE CONTROLE											
1ª L.S.C.	3894	1853	309	16	13	9770	3484	655	116	67	67
2ª L.S.C.	5494	2473	471	24	19	14014	4568	969	173	97	97
3ª L.S.C.	7094	3092	634	32	26	18258	5653	1282	230	128	128
1ª L.I.C.	695	614	0	0	0	1282	1315	27	2	6	6
2ª L.I.C.	0	0	0	0	0	0	231	0	0	0	0
3ª L.I.C.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

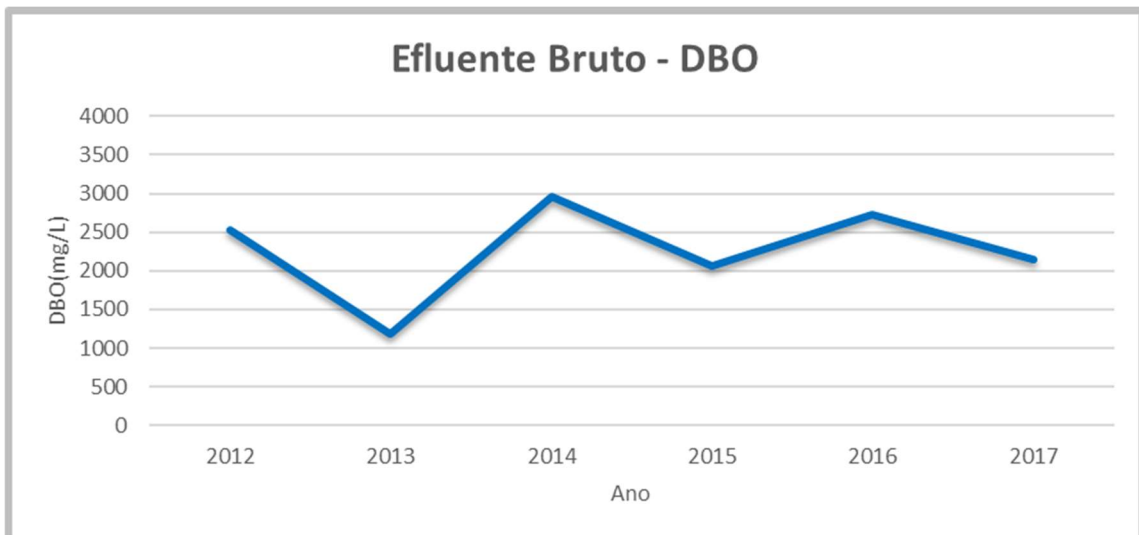
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 10- Análise descritiva para DBO



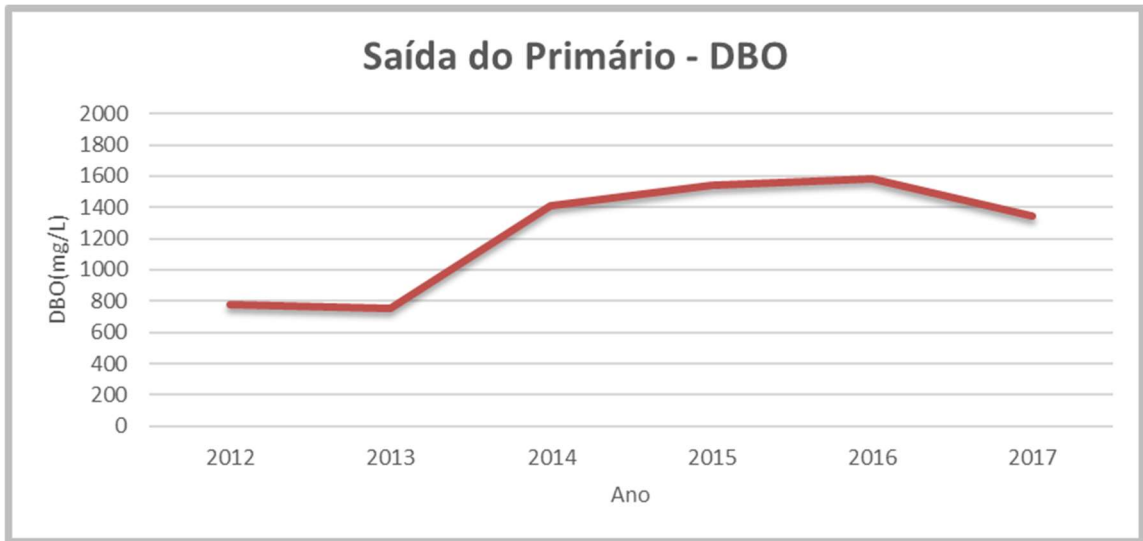
Fonte: A autora, 2019

Gráfico 11- Efluente Bruto – DBO



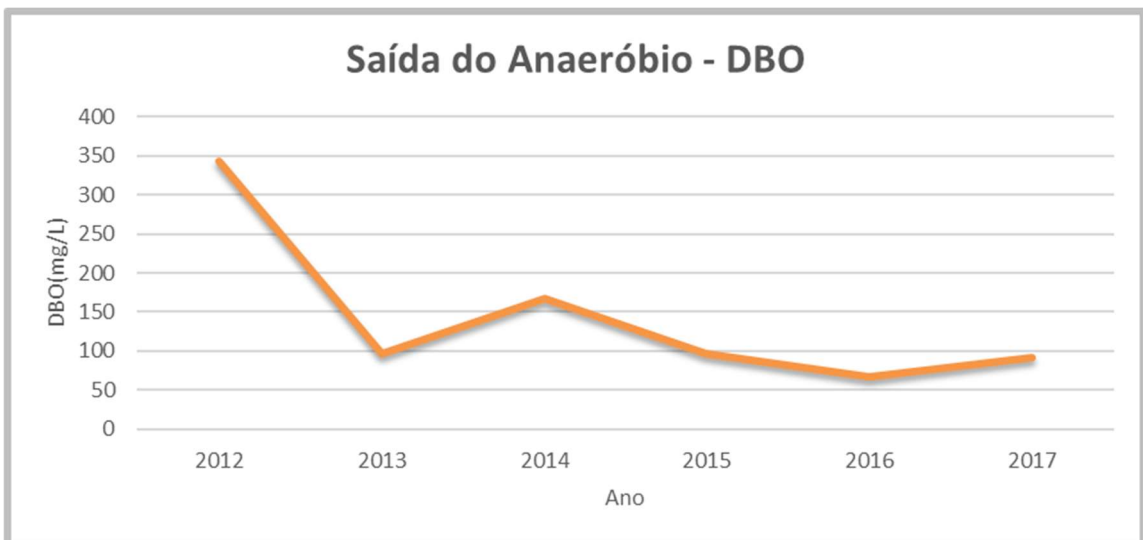
Fonte: A autora, 2019

Gráfico 12- Saída do Primário – DBO



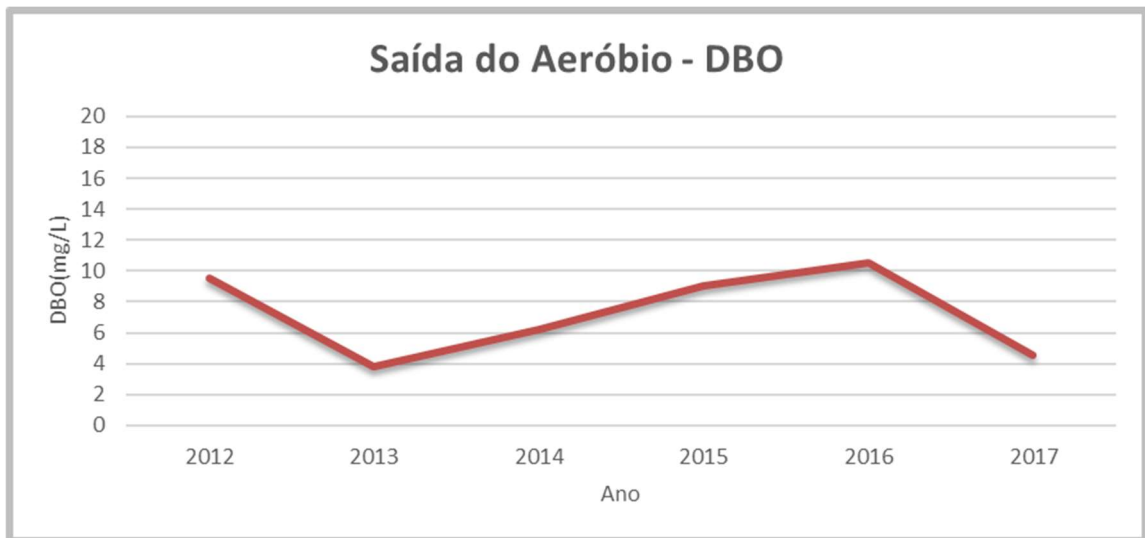
Fonte: A autora, 2019

Gráfico 13- Saída do Anaeróbio – DBO



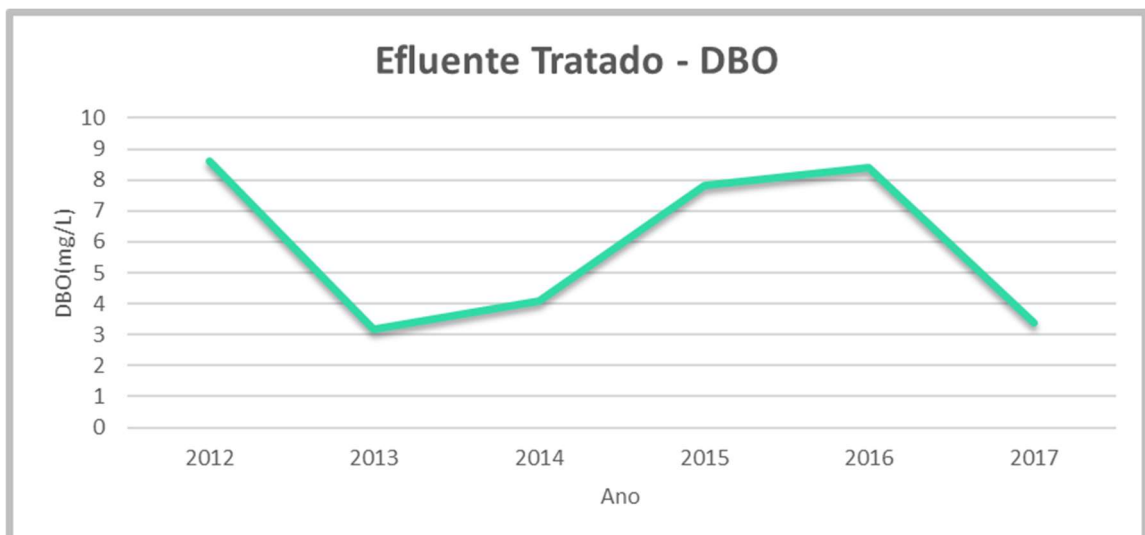
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 14- Saída do Aeróbio – DBO



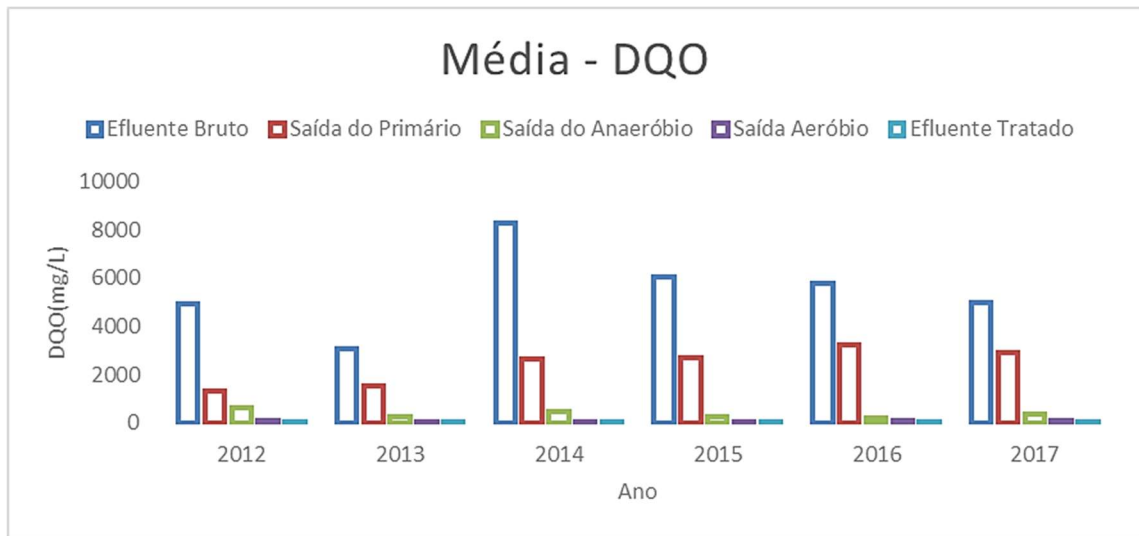
Fonte: A autora, 2019

Gráfico 15- Efluente Tratado – DBO



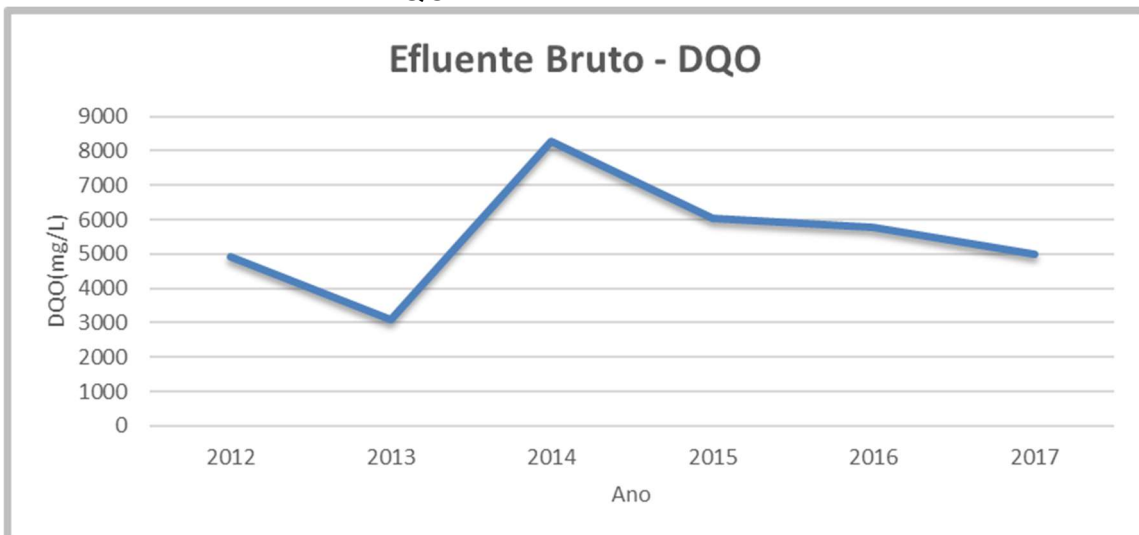
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 16- Valores da média – DQO



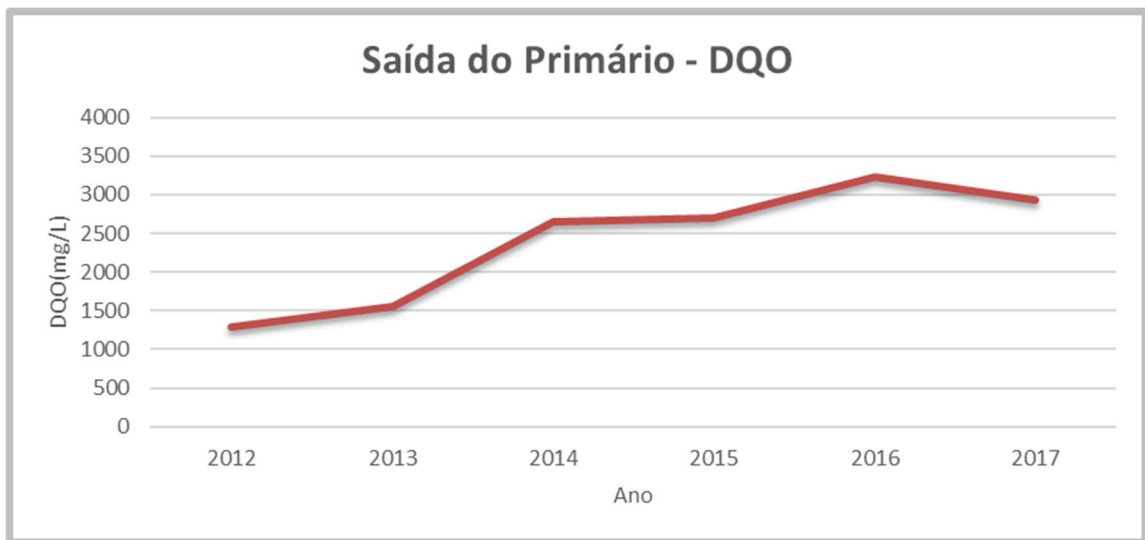
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 17- Efluente Bruto – DQO



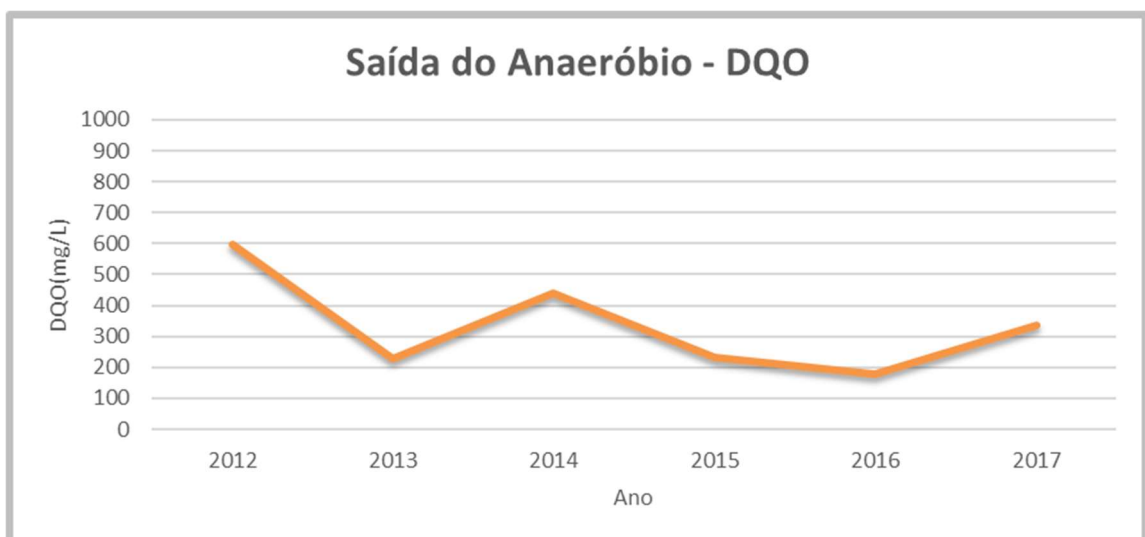
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 18- Saída do Primário – DQO



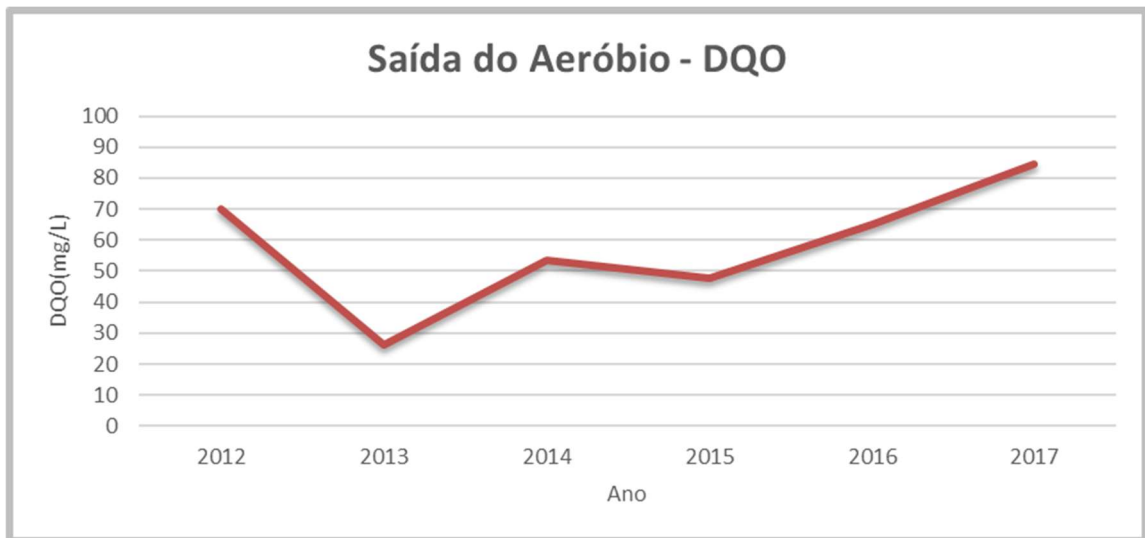
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 19- Saída do Anaeróbio -DQO



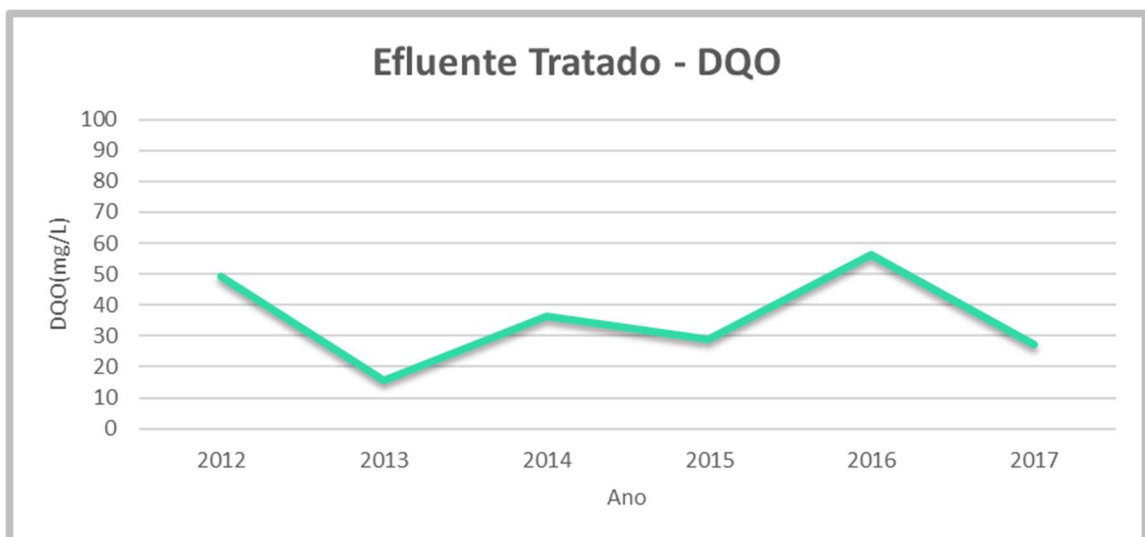
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 20- Saída do Aeróbio- DQO



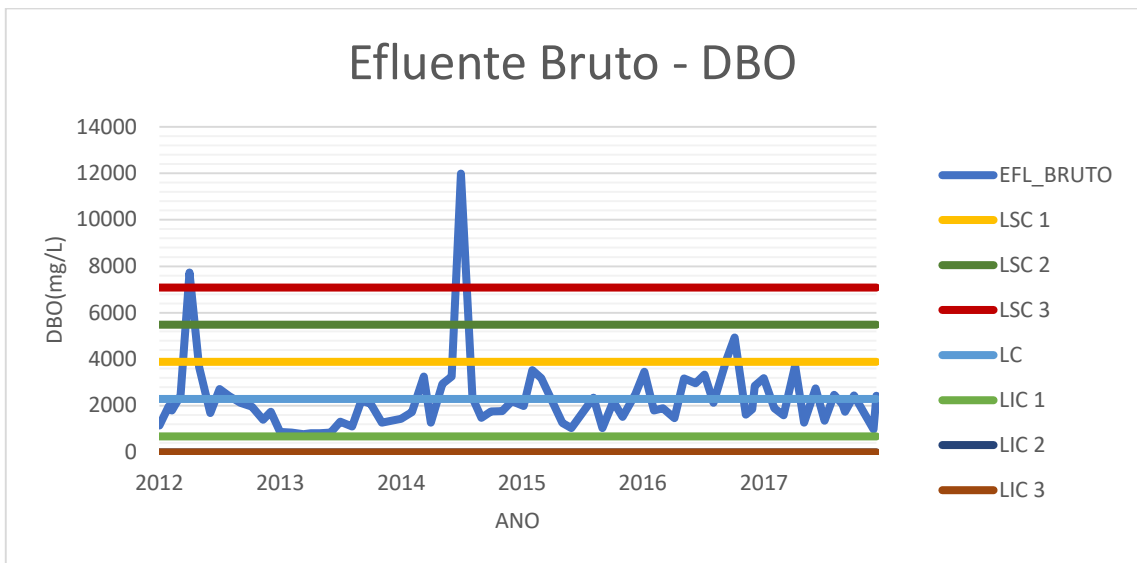
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 21- Efluente Tratado – DQO



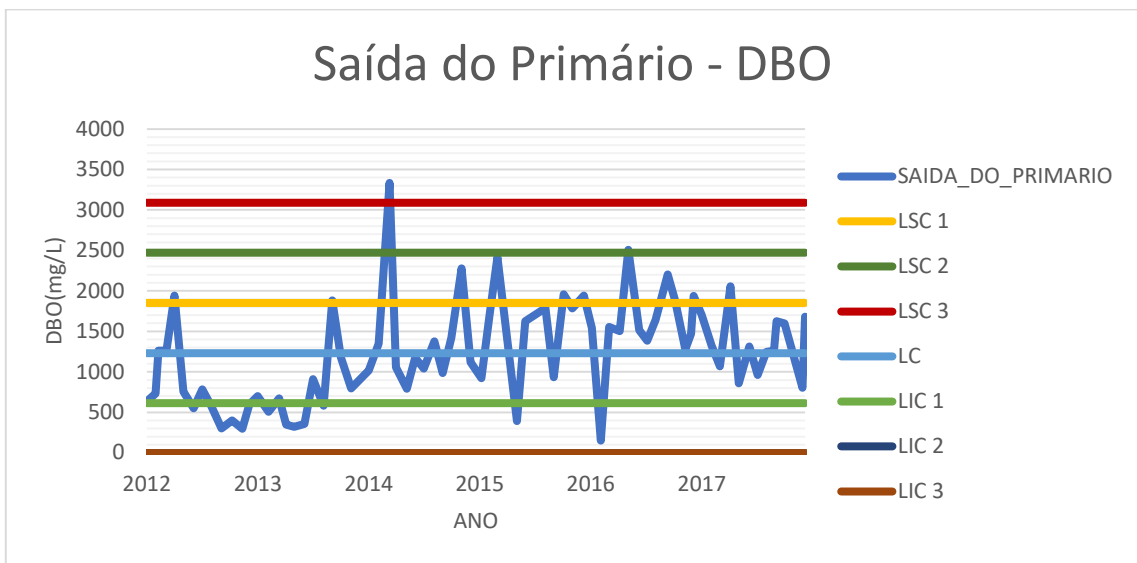
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 22- Carta de controle – Efluente Bruto DBO



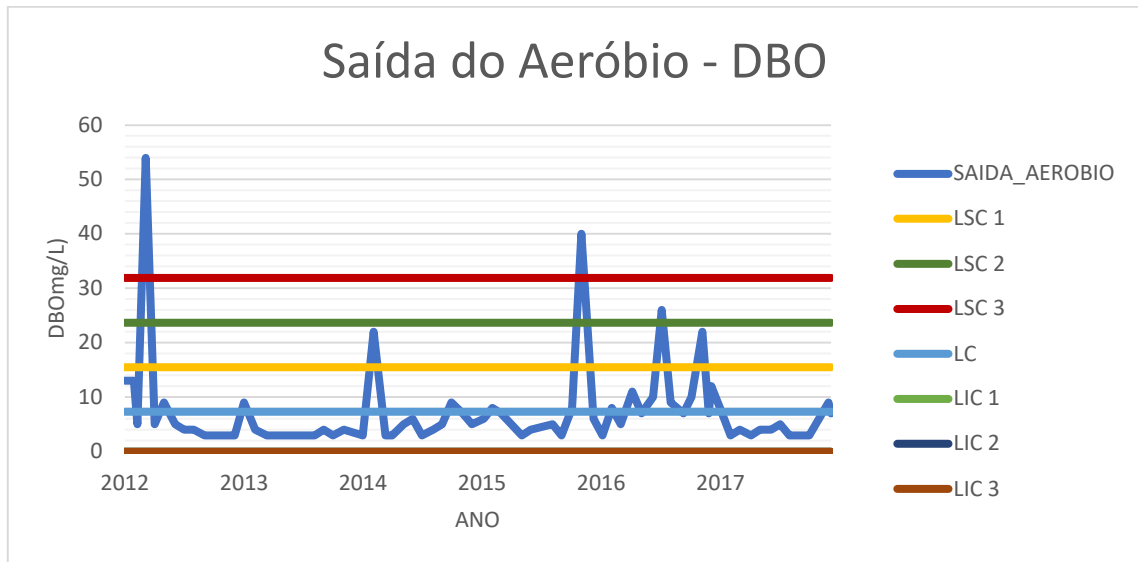
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 23- Carta de controle – Saída do Primário – DBO



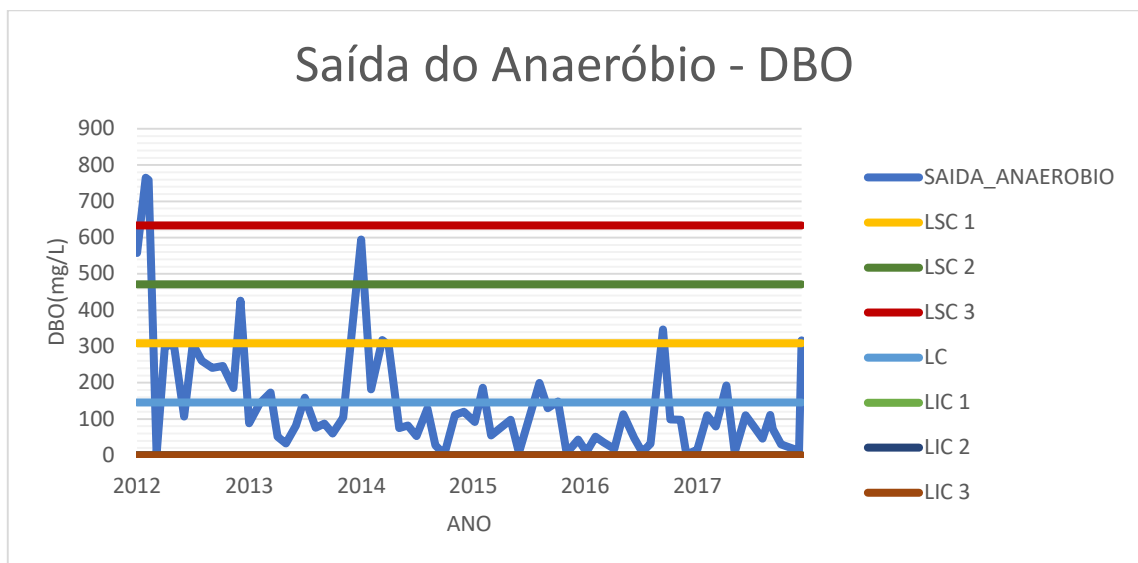
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 24- Carta de controle – Saída do Aeróbio – DBO



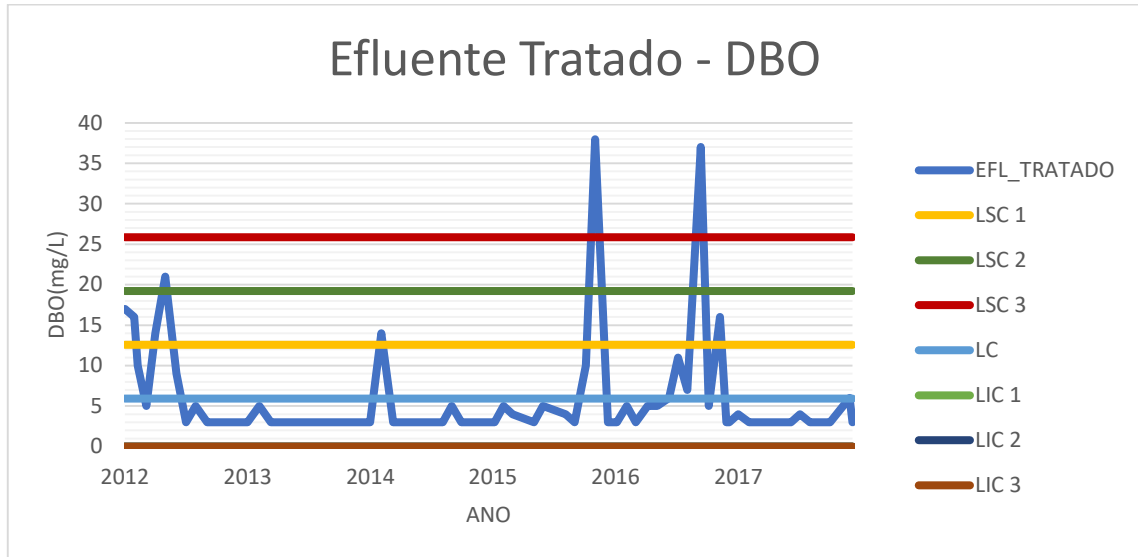
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 25- Carta de controle – Saída do Anaeróbio – DBO



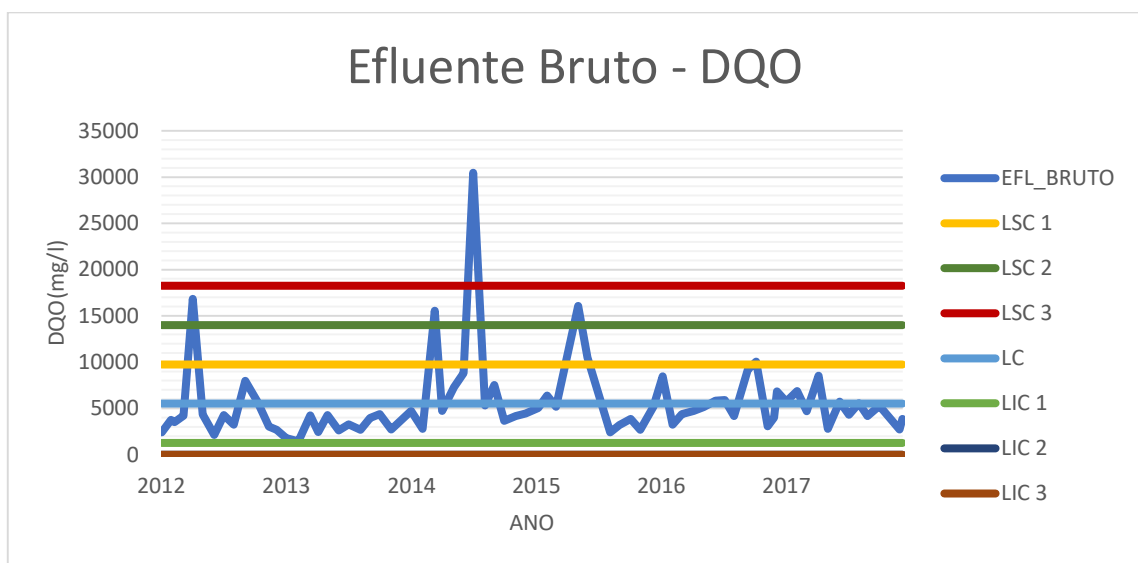
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 26- Carta de controle – Efluente Tratado – DBO



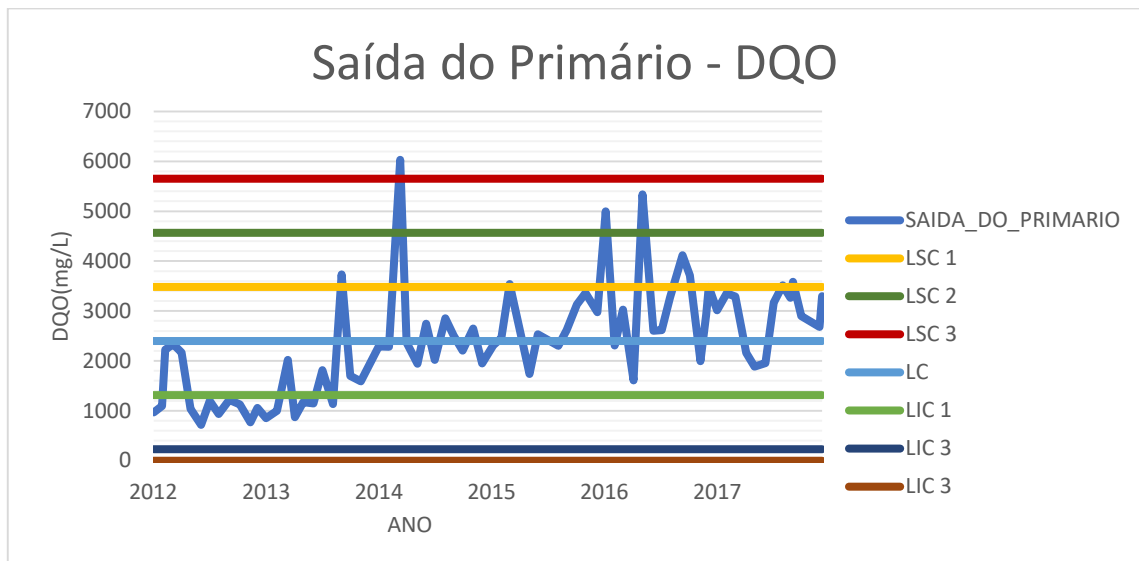
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 27- Carta de controle – Efluente Bruto – DQO



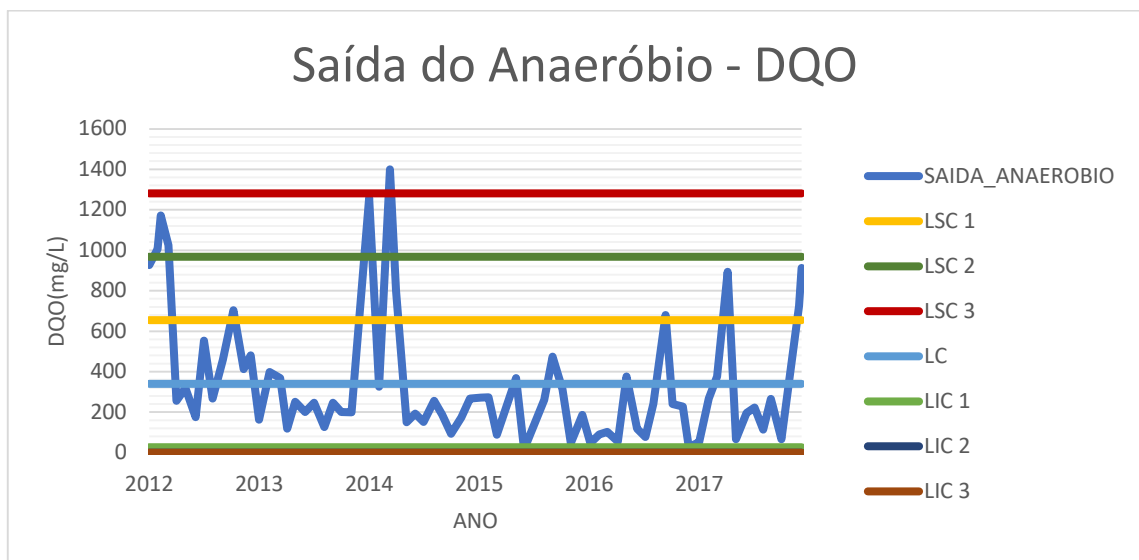
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 28- Carta de controle – Saída do Primário – DQO



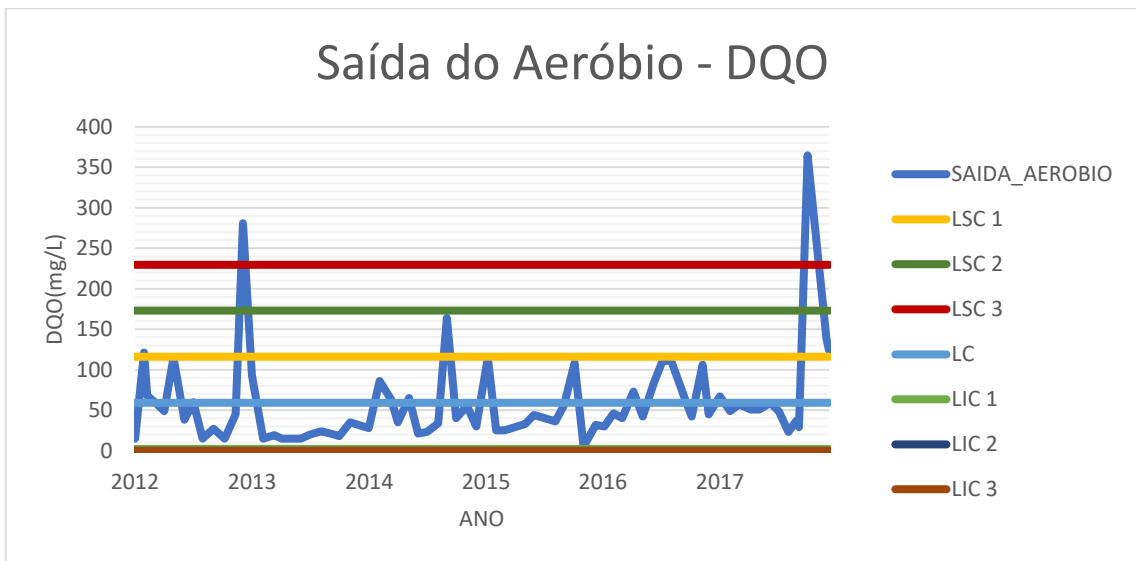
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 29- Carta de controle – Saída do Anaeróbio – DQO.



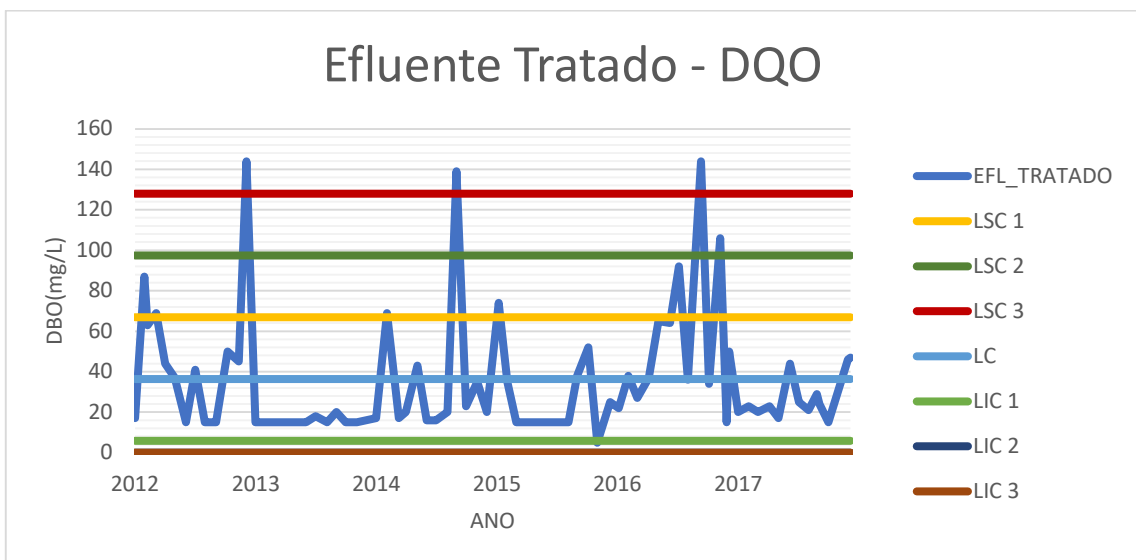
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 30- Carta de controle – Saída do Aeróbio – DQO



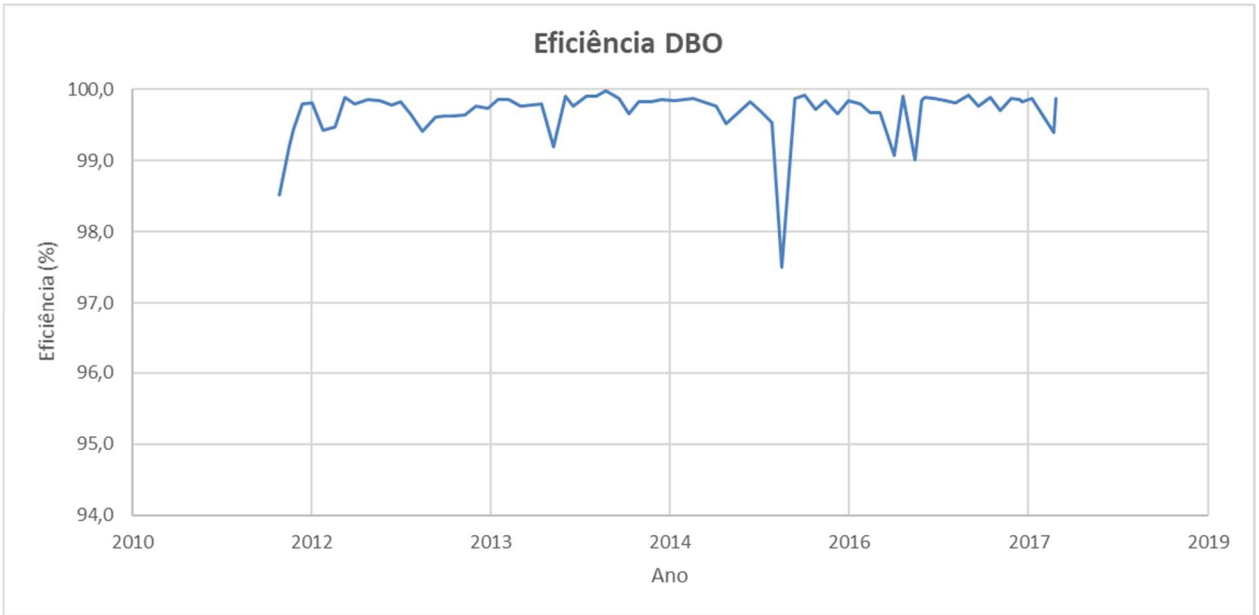
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 31- Carta de controle – Efluente Tratado – DQO



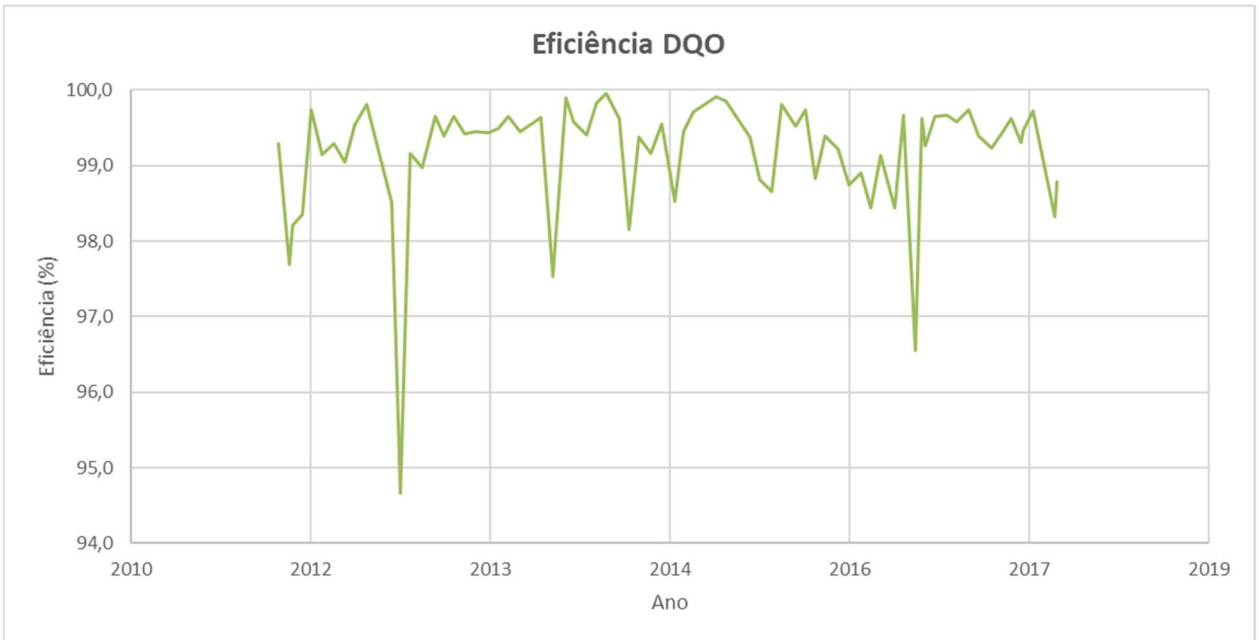
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 32- Eficiência DBO



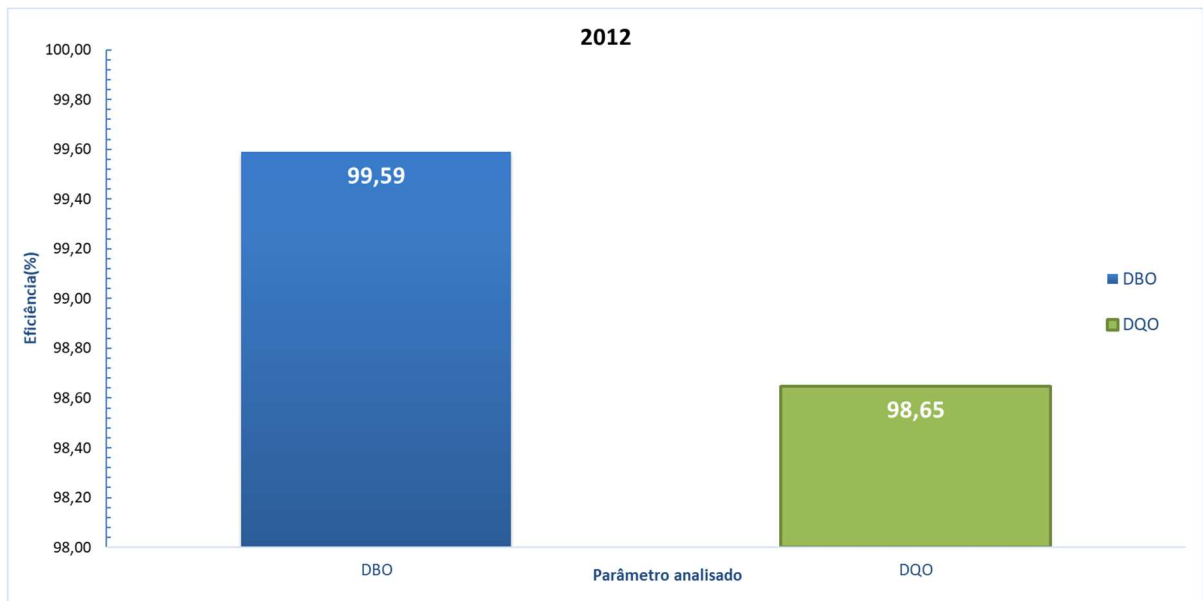
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 33-Eficiência DQO



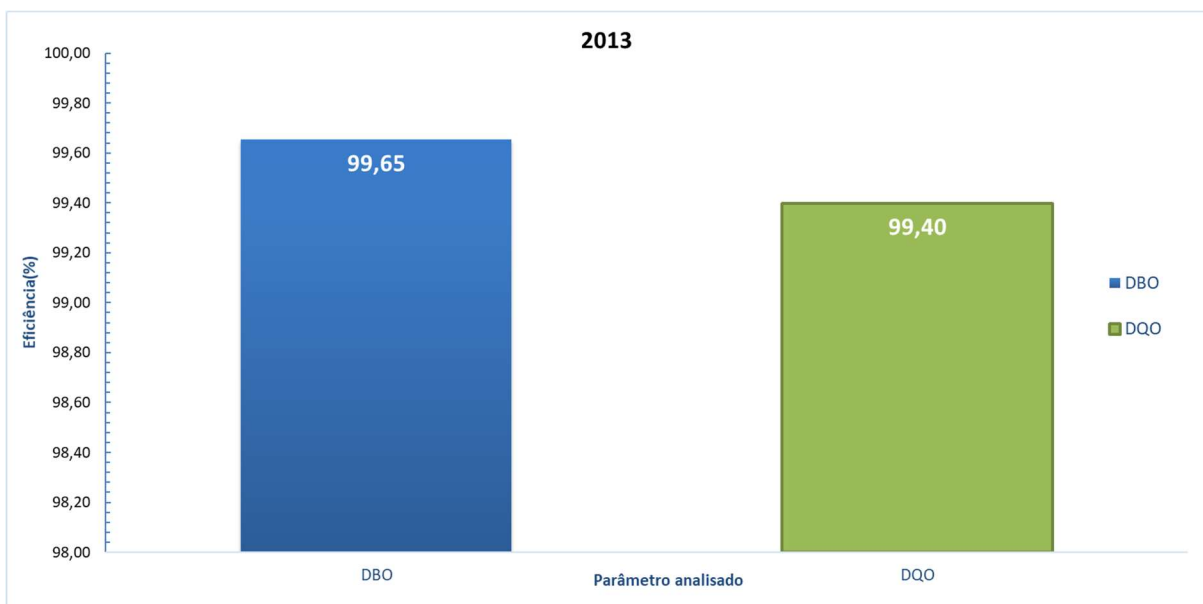
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 34-Eficiência 2012



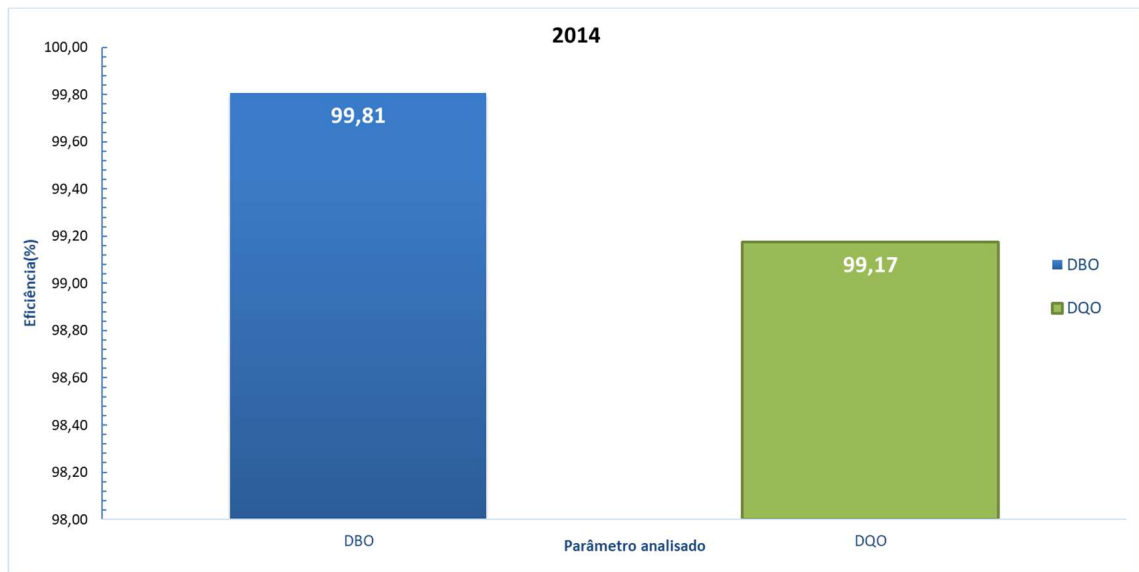
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 35- Eficiência 2013



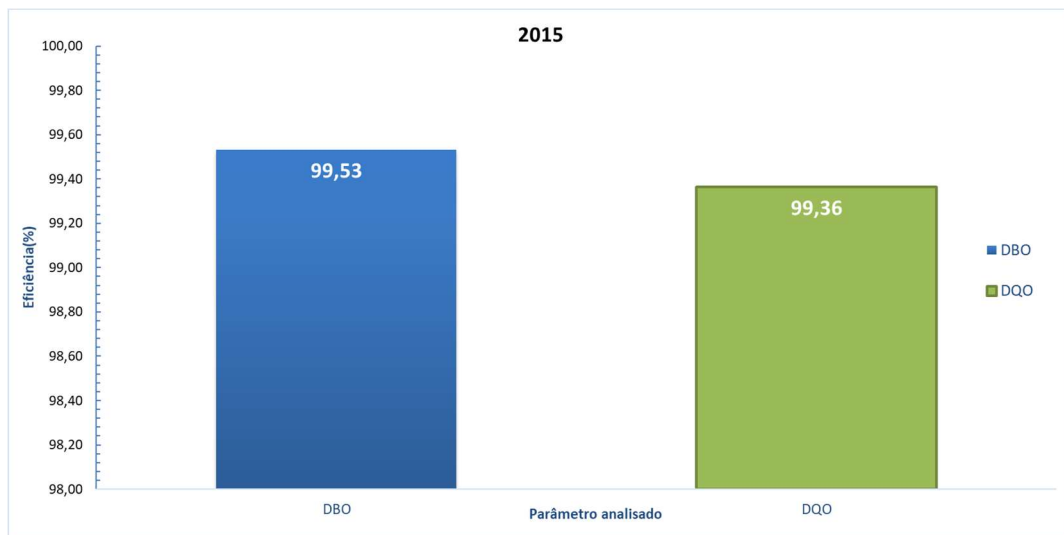
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 36- Eficiência 2014



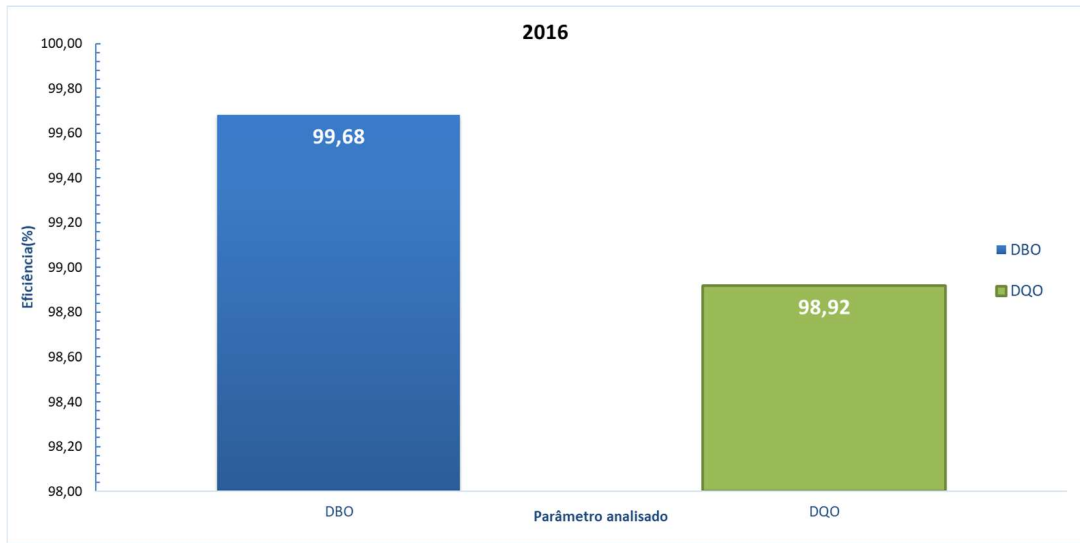
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 37- Eficiência 2015



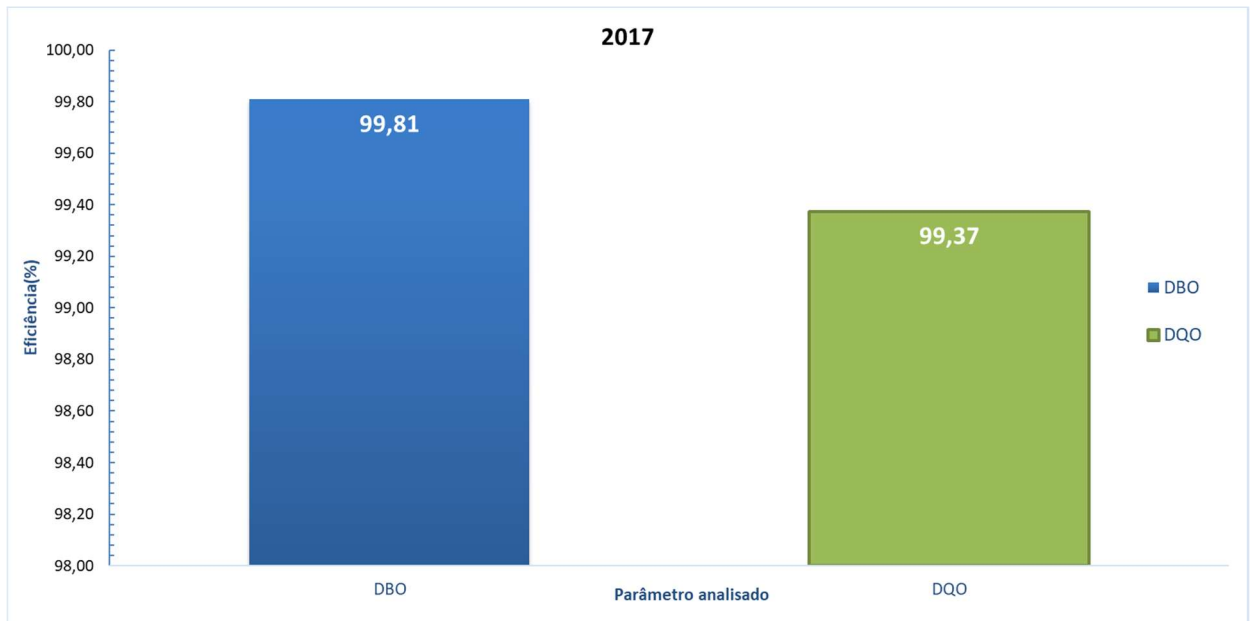
Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 38- Eficiência 2016



Fonte- A autora, 2016.

Gráfico 39: Eficiência 2017



Fonte- A autora, 2019.