

## **Aplicação de tratamento estatístico em amostras de pH - um estudo prático voltado ao ensino de engenharia**

### **Application of statistical treatment in pH samples - a practical study aimed at engineering teaching**

DOI:10.34117/bjdv8n10-115

Recebimento dos originais: 05/09/2022

Aceitação para publicação: 06/10/2022

#### **José Eduardo Ferreira de Oliveira**

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: joseferreira@recife.ifpe.edu.br

#### **Eduardo José Alécio de Oliveira**

Doutor em Farmácia

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: edualecifpe@gmail.com

#### **Antonio Marcos Figueiredo Soares**

Mestre em Engenharia de Produção

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: antoniomarcos@recife.ifpe.edu.br

#### **Bruno Maciel do Nascimento**

Graduando em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: bmn1@discente.ifpe.edu.br

#### **Éder Pereira da Silva**

Graduando em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: eps20@discente.ifpe.edu.br

#### **Fillipe Eduardo Aquino dos Santos**

Graduando em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: feas1@discente.ifpe.edu.br

**Juarez Manoel de Santana**

Graduando em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: jms62@discente.ifpe.edu.br

**Marcus Vinicius Fernandes Florentino**

Graduando em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: mvff@discente.ifpe.edu.br

**Myllena Luna Lins**

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: mll1@discente.ifpe.edu.br

**Michael Victor Brando de Oliveira**

Graduando em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Av. Professor Luis Freire, S/N, Cidade Universitária, Recife - PE

E-mail: mvbo@discente.ifpe.edu.br

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi apresentar um tratamento estatístico realizado em três amostras durante um dia de trabalho, no tocante à medição do pH da água de um sistema de tratamento de efluentes de uma empresa do Estado de Pernambuco. A metodologia aplicada consistiu na verificação de normalidade, verificação de *outliers*, estabelecimento do tamanho mínimo da amostra, determinação do intervalo de confiança e a expressão do resultado de medição (incluindo a incerteza de medição). O aspecto mais relevante deste trabalho diz respeito à aplicação de uma metodologia em um problema real, visando a confiabilidade nos resultados, sendo aplicada por alunos de engenharia, no decorrer da disciplina de estatística. Portanto, além do passo a passo deste trabalho poder ser aplicado a quaisquer grandezas, há ainda o objetivo de disseminação desta prática em outros cursos de graduação e pós-graduação em engenharia, para a disciplina de estatística.

**Palavras-chave:** Tratamento estatístico, pH, efluentes.

**ABSTRACT**

The objective of this work was to present a statistical treatment carried out on three samples during a working day, with respect to the measurement of the pH of a wastewater treatment system on a company in the State of Pernambuco. The Applied methodology consisted of analysis of normality and outliers, establishment of the minimum sample size, determination of the confidence interval and express the measurement result (including uncertainty in measurement). The most relevant aspect of this work concerns the application of a methodology in a real problem, aiming at the reliability of the results, being applied by engineering students, during the course of statistics. Therefore, in addition to the step-by-step of this work being applied to any magnitudes, there is also

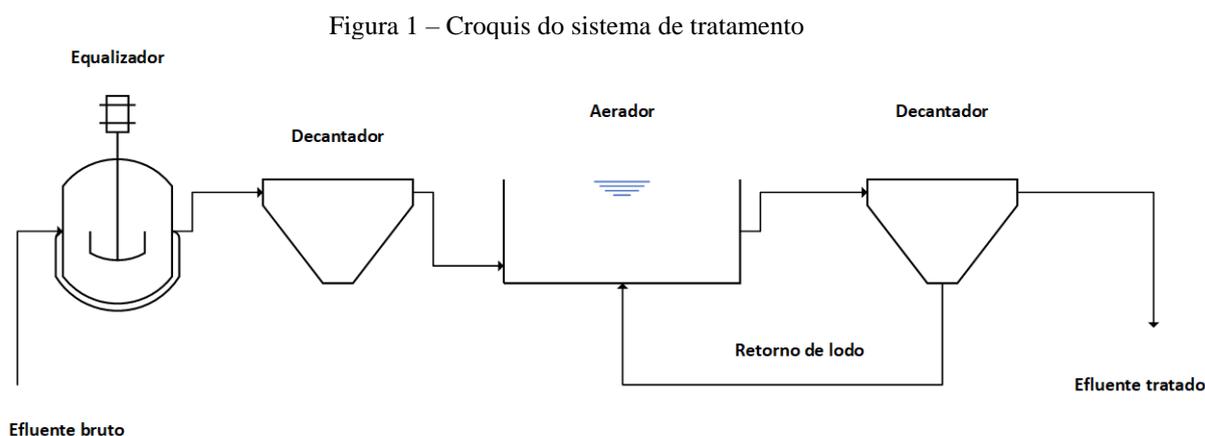
the objective of disseminating this practice in other undergraduate and graduate courses in engineering for the discipline of statistics.

**Keywords:** Statistical treatment, pH, wastewater.

## 1 INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes na indústria depende de alguns parâmetros de controle para o bom funcionamento de suas operações unitárias. Destes parâmetros, o pH é essencial, pois ele é quem determina a quantidade de insumos a ser utilizada, assim como se a etapa biológica terá uma eficiência aceitável (METCALF, EDDY, 2017).

O sistema de tratamento para este tipo de efluente, com alta carga orgânica, consiste nas etapas primária (gradeamento, equalizador e caixa de gordura), físico-química (decantação), biológica (aerador) e, por fim, decantação com reciclo de lodo (lodo ativado) (METCALF, EDDY, 2017), como mostra a Figura 1.



As etapas de tratamento necessitam de controles de parâmetros básicos para o bom funcionamento, como: pH, Sólidos Totais (SST), Oxigênio Dissolvido (OD), alcalinidade, nitrogênio total, amônia e sulfetos.

O equalizador é projetado para receber dois efluentes: um de caráter ácido, com pH na faixa de 4,0 a 5,0 durante a tarde e um de caráter básico, de pH na faixa de 11,00 a 12,00 durante a manhã. Por este motivo, o equalizador é dimensionado para manter o volume de efluente sob agitação durante 24 horas para equalizar o pH na faixa de 9,50 a 10,00. A etapa de decantação, onde antecede o sistema biológico, consiste em utilizar o sulfato de alumínio (coagulante) junto com polímero aniônico (floculante) para aumentar o tamanho das partículas e assim facilitar a sedimentação das mesmas. Para o bom

funcionamento da coagulação, o efluente deve ter alcalinidade capaz de neutralizar a formação de ácido sulfúrico do sulfato de alumínio (DAVIS,2016). Por este motivo, o pH ideal, medido no laboratório da empresa, se concentra na faixa de 8,50 a 9,00 para este tipo de efluente após a adição do coagulante.

Após a coagulação, na etapa de aeração do efluente, etapa primordial para oxidação da matéria orgânica, o pH deve ser mantido nos valores de 7,00 até 9,00. Este valor é devido à resistência das bactérias à variação de pH, as quais toleram na faixa de 6,00 até o valor máximo de 9,00. Após esse tratamento, o efluente é direcionado para o decantador secundário e clarificado. O clarificado é utilizado pela empresa para lavagem de pisos e irrigação, enquanto que o lodo, 60% dele é reutilizado e 40% é seco e descartado em aterro industrial (NUNES, 2001). Em todas essas etapas, a obtenção de resultados confiáveis é fundamental para a garantia da qualidade do tratamento, minimização dos custos e dos tempos relacionados ao controle da qualidade.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar um tratamento estatístico em medições de pH em diferentes pontos de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), com ênfase na obtenção de resultados confiáveis para se ter um controle da qualidade do produto em conformidade com as especificações, e se poder realizar melhorias no processo. Além disto, se poder aplicar os conhecimentos obtidos na disciplina de Estatística do curso de graduação de Engenharias Mecânica do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)/Campus Recife, em um caso real, servindo assim, como elemento de motivação e conhecimento aos estudantes da graduação, não se limitando apenas aos exercícios teóricos apresentados nas bibliografias utilizadas no curso.

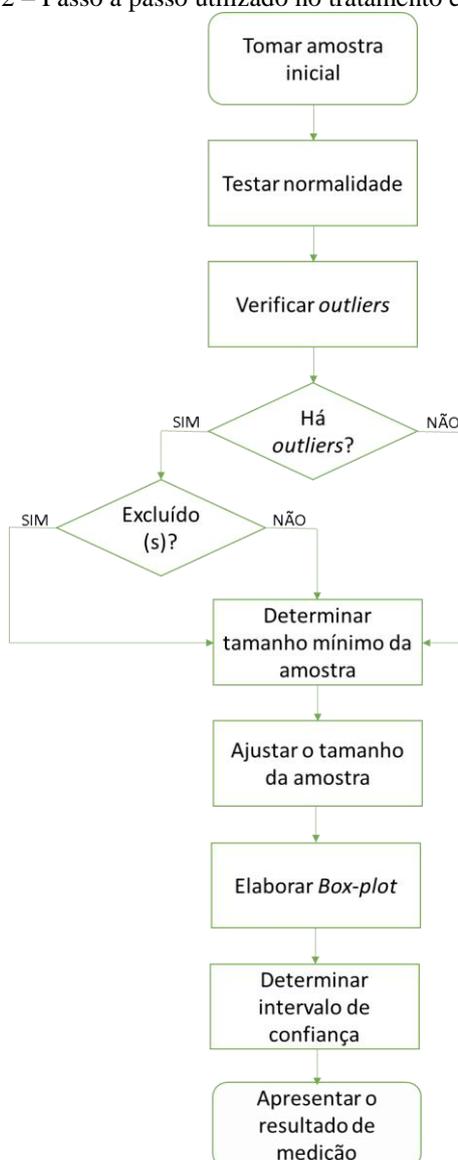
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, o pH foi medido durante um dia de trabalho, a cada meia hora em três diferentes estágios do processo: equalizador, decantador e aeração, perfazendo um total de 22 medições em cada estágio (equalizador, decantador e aeração). O pHmetro utilizado possui as seguintes características: medidor de bancada para pH da marca Hanna, modelo HI 2210; digital; menor divisão de 0,01 pH; faixa nominal de -2 a 16 pH.

A Figura 2 apresenta o passo utilizado para o tratamento estatístico. Conforme apresentado, o primeiro passo foi tomar a amostra inicial de 22 pontos, o que correspondeu a uma medição de cada estágio a cada meia hora. Em seguida, foi testada normalidade, através dos seguintes testes: Shapiro-Wilk, Kolmogorov Smirnov, Cramer von Mises e Anderson-Darling para um nível de confiança de 95% (SHAPIRO et al.,

1965) (SHESKIN, 2003) (KAPUR, 2014) (KECECIOGLU, 1994) (KECECIOGLU, 2002). Com relação ao teste de Anderson-Darling foi utilizado o software MINITAB, versão 19, enquanto que para os demais testes foi utilizado o software ACIC NORMALIDADE (ACIC NORMALIDADE, 2019), desenvolvido pelo grupo de pesquisa TOLERANCIAMENTO E METROLOGIA do IFPE. O critério adotado é que se a amostra for aceita em pelo menos um dos testes, a mesma é considerada que provem de uma população com distribuição normal. Caso contrário, o tratamento estatístico não prosseguirá, uma vez que haverá a necessidade de se utilizar distribuições não estudadas na disciplina.

Figura 2 – Passo a passo utilizado no tratamento estatístico



O passo seguinte diz respeito à verificação de possíveis outliers, com o intuito de melhoria do processo e da confiabilidade dos resultados grados. Os três testes estudados na disciplina de estatística são: teste de Dixon (também conhecido como teste Q), teste de Grubbs e teste de Chauvenet (RORABACHER, 1991) (GRUBBS, 1969) (LINK, 2000). Para aplicação dos testes foi utilizado o software ANALYSIS OUTLIERS (ANALYSIS OUTLIERS, 2019). Caso algum outlier seja verificado em algum dos testes aplicados, deverá ser realizada uma análise dos possíveis motivos do mesmo, antes de se decidir sobre a sua exclusão ou não da amostra. A partir daí, parte-se para o ajuste do tamanho mínimo da amostra. Essa ação, além de agregar confiabilidade ao conjunto amostral, também servirá para se ajustar o intervalo entre as medições do pH, o que poderá levar à possibilidade de se estender o tempo entre medições, repercutindo assim, na redução dos tempos e custos relacionados ao controle. Considerando-se que o desvio padrão do processo, em cada uma das três etapas, é desconhecido, a distribuição t-Student é utilizada. Assim, a variabilidade em torno da média deverá ser igualada a um parâmetro conhecido como erro de estimativa ( $e_e$ ), conforme Eq. (1). Esse erro representa o quanto se admite de variação entre a média aritmética e a média da população.

$$e_e = t_{crit} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Onde:

$t_{crit}$  = valor crítico da distribuição t-Student, obtido em função do número de graus de liberdade da amostra e do nível de significância;  
 $s$  = desvio padrão amostral e  
 $n$  = tamanho da amostra.

O tamanho mínimo da amostra é obtido a partir da Eq. (1), conforme apresentado na Eq. (2) (NETO et al., 2007).

$$n \geq \left( \frac{t_{crit} \cdot s}{e_e} \right)^2 \quad (2)$$

A partir da amostra inicial, é realizado um ajuste no tamanho da mesma. Para tal, foi utilizado o software SAMPLE SIZE CALC SOFTWARE (SAMPLE SIZE CALC SOFTWARE, 2020).

O passo seguinte respeito à elaboração de um box-plot com o intuito de se perceber graficamente, a disposição das amostras no tocante à tendência central e variabilidade. Em seguida, determina-se o intervalo de confiança com o objetivo de se comparar com as especificações.

O último passo é a expressão do resultado de medição com sua respectiva incerteza expandida de medição (GUM, 2008). Para tal, foram consideradas as seguintes fontes de incerteza: incerteza estatística (tipo A); incerteza herdada do pHmetro (tipo B), que neste caso, é igual a 0,01 para um fator de abrangência  $k = 2,0$  e a incerteza referente à resolução do pHmetro (tipo B), atribuindo-se uma distribuição retangular para a menor divisão do pHmetro de 0,01. Vale ressaltar que os alunos da graduação realizam o estudo da incerteza de medição na disciplina metrologia. No entanto, eles estudam em estatística, as distribuições probabilísticas que foram utilizadas para a determinação da incerteza expandida (distribuição t-Student e distribuição uniforme ou retangular). Além disto, estudam o conceito de graus de liberdade. Desta forma, para a determinação desta incerteza foi utilizada versão educativa do software GUM WORKBENCH (GUM WORKBENCH, 2022)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados das medições para as três situações, durante um turno de trabalho. Inicialmente, foi testada normalidade para as amostras do equalizador, decantador e da aeração. Os resultados estão apresentados na Tabela 2. A Figura 3 apresenta a tela do software ACIC NORMALIDADE para amostra do equalizador, indicando a não normalidade.

Tabela 1: Valores medidos de pH

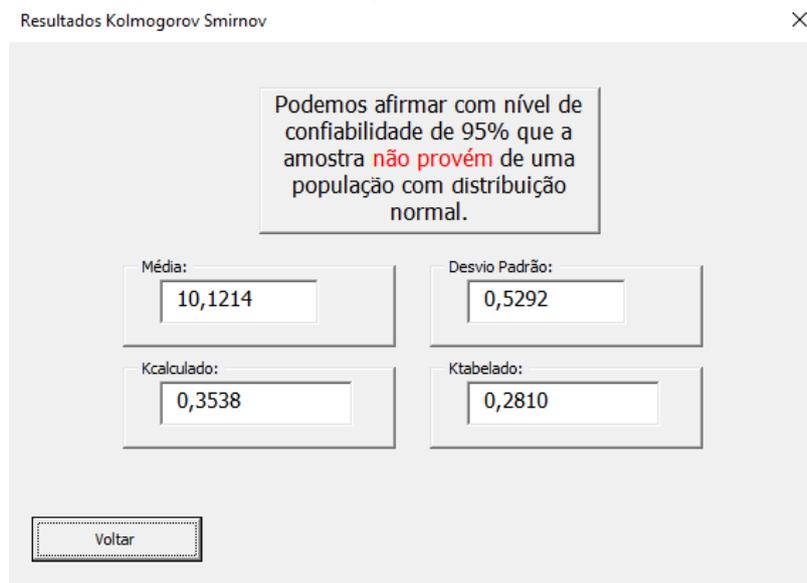
Hora	pH (equalizador)	pH (decantador)	pH (aeração)
06:00	10,68	9,51	8,21
06:30	10,66	9,36	8,21
07:00	10,66	9,12	8,20
07:30	10,60	9,10	8,24
08:00	10,50	8,77	8,28
08:30	10,51	8,78	8,36
09:00	10,50	8,68	8,22
09:30	10,50	8,69	8,26
10:00	10,50	8,70	8,20
10:30	10,52	8,70	8,21
11:00	10,51	8,68	8,23
11:30	10,50	8,63	8,25
12:00	10,50	8,63	8,21
13:00	9,48	8,40	8,32

13:30	9,50	8,41	8,20
14:00	9,52	8,42	8,18
14:30	9,51	8,41	8,12
15:00	9,50	8,39	8,09
15:30	9,50	8,40	8,08
16:00	9,51	8,40	8,09
16:30	9,51	8,39	8,10
17:00	9,50	8,40	8,09

Tabela 2: Resultados da verificação de normalidade para confiabilidade de 95%

Amostras (pH)	Testes de normalidade			
	Shapiro-Wilk	Kolmogorov Smirnov	Cramer von Mises	Anderson Darling
<b>Equalizador</b>	reprovado	reprovado	reprovado	reprovado
<b>Decantador</b>	reprovado	aprovado	reprovado	reprovado
<b>Aeração</b>	aprovado	aprovado	aprovado	aprovado

Figura 3 – Tela do ACIC NORMALIDADE para o teste de Kolmogorov Smirnov para a amostra do equalizador



Analisando-se a Tabela 2, verifica-se que os valores da amostra do equalizador não provém de uma população com distribuição normal. No caso, do decantador apenas foi verificada normalidade pelo teste de Kolmogorov Smirnov e para a fase de aeração, foi verificada normalidade em todos os testes aplicados. Logo, o tratamento estatístico não foi aplicado para o equalizador. No entanto, a fim de se verificar qual a distribuição probabilística que mais se aproxima desse conjunto amostral, foi utilizada a ferramenta de controle de qualidade (identificação de distribuição individual) do MINITAB, versão 19, e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Aplicação do teste de qualidade de ajuste através do MINITAB

Distribuição	AD	P	TRV	P
Normal	3,110	<0,005		
Transformação de Box-Cox	2,975	<0,005		
Lognormal	3,144	<0,005		
Lognormal de 3 Parâmetros	3,246	*	0,547	
Exponencial	9,200	<0,003		
Exponencial de 2 Parâmetros	4,339	<0,010	0,000	
Weibull	3,200	<0,010		
Weibull de 3 Parâmetros	3,144	<0,005	0,575	
Menor Valor Extremo	3,143	<0,010		
Maior Valor Extremo	3,296	<0,010		
Gama	3,269	<0,005		
Gama de 3 Parâmetros	3,275	*	0,000	
Logística	2,930	<0,005		
Loglogística	2,960	<0,005		
Loglogística de 3 Parâmetros	2,930	*	0,545	

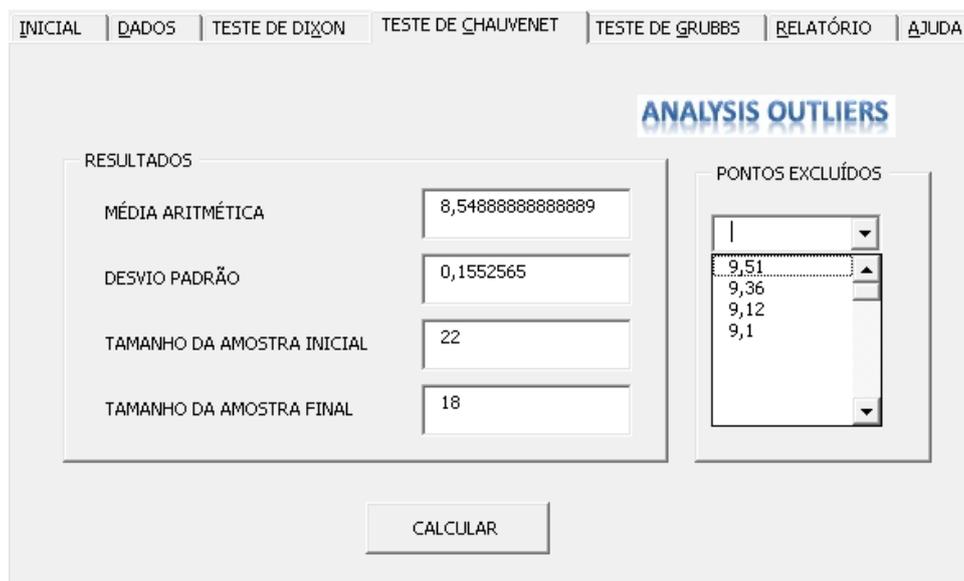
Conforme apresentado na Tabela 3, nenhuma distribuição se ajusta aos dados do equalizador, pois todos apresentam valor-p abaixo de 0,05, considerando-se um nível de significância de 5%.

O passo seguinte foi se realizar a verificação da presença de possíveis *outliers* nas duas amostras restantes, aplicando-se os testes de Dixon, Grubbs e Chauvenet, através do software ANALYSIS OUTLIERS. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos. Apenas na amostra do decantador foram verificados outliers pelo teste de Chauvenet. Esses valores foram medidos entre 06h00min e 07h30min, no início do turno, conforme pode ser verificado na Tabela 1. A Figura 4 apresenta a tela do software ANALYSIS OUTLIERS, sendo aplicado o teste de Chauvenet no decantador.

Tabela 4: Resultados da verificação de *outliers* para confiabilidade de 95%

Amostras (pH)	Outliers encontrados		
	Dixon (teste Q)	Grubbs	Chauvenet
<b>Equalizador</b>	-	-	-
<b>Decantador</b>	Não encontrado	Não encontrado	9,51; 9,36; 9,12; 9,10
<b>Aeração</b>	Não encontrado	Não encontrado	Não encontrado

Figura 4 – Tela do software ANALYSIS OUTLIERS para a amostra do decantador  
ANALYSIS OUTLIERS 1.0



Para a determinação do tamanho mínimo da amostra, como o desvio padrão da população não é conhecido, a distribuição t-Student foi utilizada para um nível de confiança de 95%. Para a etapa de decantação, onde a tolerância de pH é 0,5, uma vez que o limite inferior de especificação do pH é igual a 8,50 e o limite superior vale 9,00, o erro de estimativa adotado foi de 0,25 (metade da tolerância). Utilizando-se o software SAMPLE SIZE CALC SOFTWARE que aplica a Eq. (2), o tamanho mínimo da amostra é igual a 8, conforme apresentado na Figura 5. Para a etapa de aeração onde a tolerância do pH é igual a 2, o erro de estimativa adotado foi igual a 1. Para este caso, o tamanho mínimo da amostra foi igual a 1. Através deste estudo, percebe-se que ao invés de se realizar uma medição a cada meia hora para o caso da etapa de decantação, poderia se realizar uma medição a cada uma hora, reduzindo-se assim, os custos de controle, preservando-se a confiabilidade.

A próxima etapa foi a elaboração de um *box-plot* envolvendo as duas etapas, com o objetivo de se verificar a variabilidade, bem como o comportamento dos dados em relação aos limites de especificação. De acordo com o *box-plot* apresentado na Figura 6, constata-se que para a etapa de decantação, existem valores fora dos limites de especificação delimitado pelas linhas em vermelho. Com relação à amostra oriunda da aeração, todos os pontos se encontram dentro dos limites de especificação de pH, que neste caso variam entre 7,00 e 9,00. Outra constatação diz respeito à variabilidade na amostra da aeração ser inferior à variabilidade da amostra de decantação, o que indica um

maior controle do processo. Outra diferença percebida entre as duas amostras é em função da tendência central, através da mediana.

Figura 5 – Determinação do tamanho mínimo da amostra na etapa de decantação

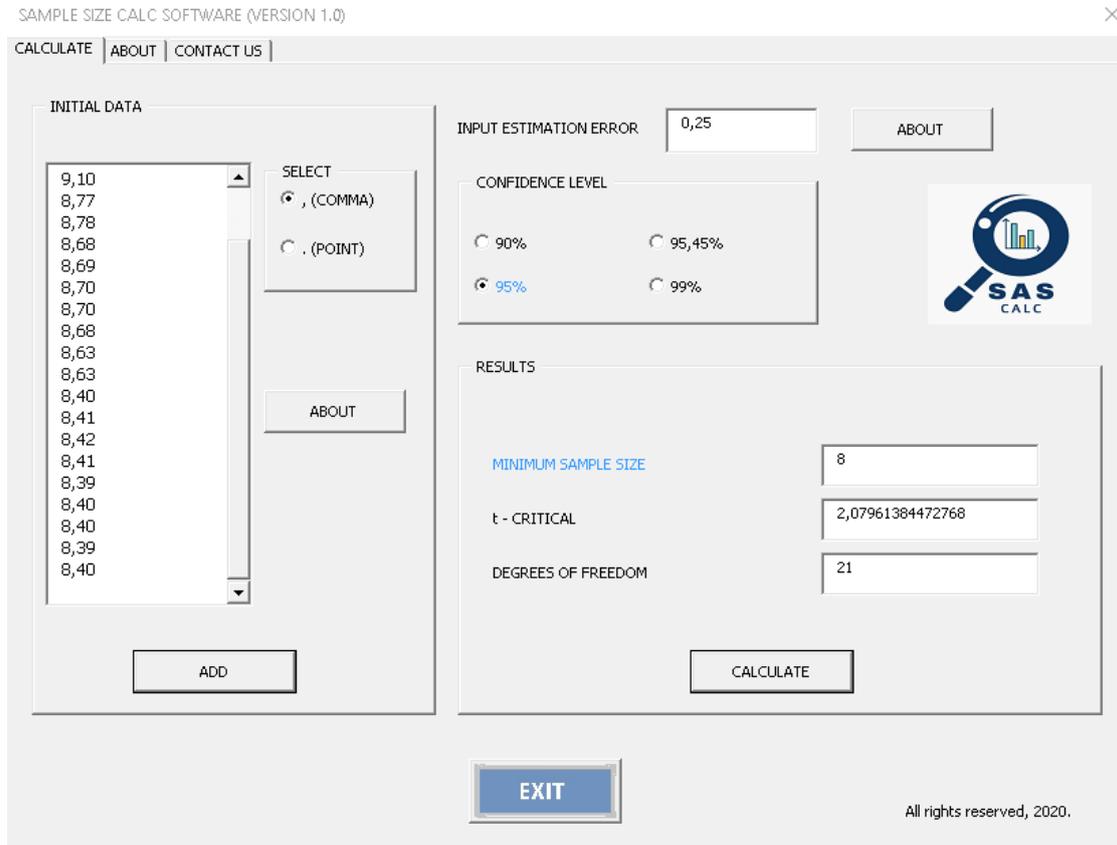
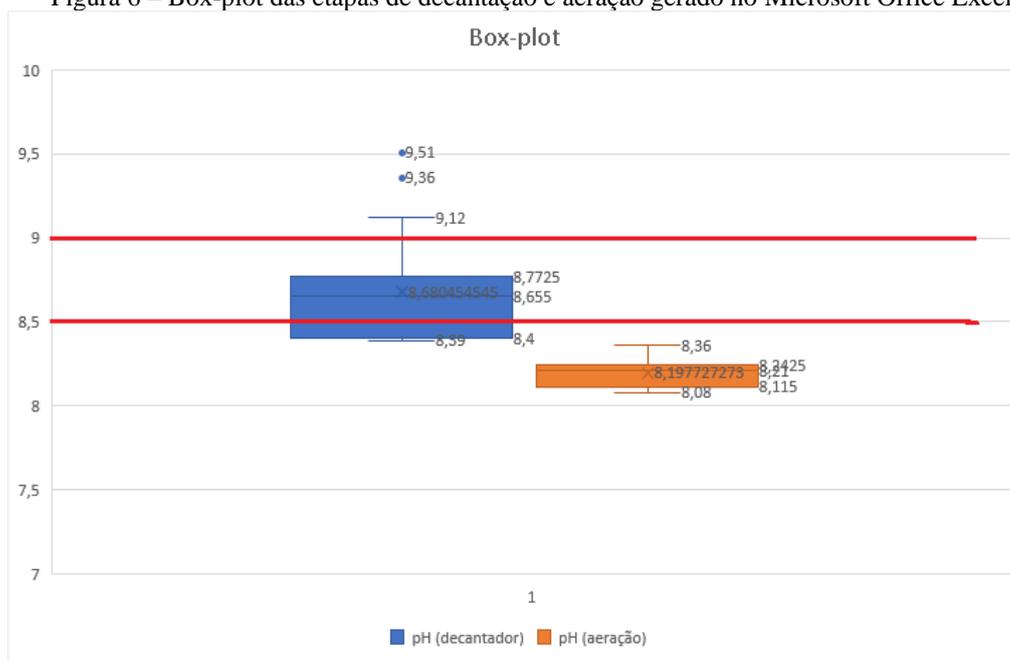


Figura 6 – Box-plot das etapas de decantação e aeração gerado no Microsoft Office Excel



A penúltima etapa da análise estatística é a determinação do intervalo de confiança que poderá ser para a média ou para a mediana, com o objetivo de indicar a margem de imprecisão do resultado da medição do pH para cada uma das duas amostras. Para tal, deve-se determinar o limite inferior do intervalo ( $x_I$ ), dado pela Eq. (3) e o limite superior do intervalo ( $x_S$ ), dado pela Eq. (4), onde neste caso,  $\bar{X}$  representa a média aritmética da amostra.

$$x_I = \bar{X} - t_{crit} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$$x_S = \bar{X} + t_{crit} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Para ambas as situações, onde o nível de significância é 0,05 e  $n = 22$ , correspondendo a 21 graus de liberdade,  $t_{crit}$  vale 2,0796. Para o caso do decantador, não excluindo-se os *outliers*, tem-se os seguintes parâmetros: média aritmética do pH: 8,68; desvio padrão amostral do pH: 0,3266. Logo, aplicando-se a Eq. (3) e a Eq. (4), obtêm-se os seguintes limites do intervalo de confiança:

$$x_i = 8,68 - 2,0796 \cdot \left( \frac{0,3266}{\sqrt{22}} \right) = 8,535634$$
$$x_s = 8,68 + 2,0796 \cdot \left( \frac{0,3266}{\sqrt{22}} \right) = 8,825275$$

A Figura 7 apresenta um resumo estatístico obtido através do MINITAB para a amostra do decantador, destacando o intervalo de confiança para a média e para a mediana. Por sua vez, para a etapa de aeração, tem-se, através do resumo estatístico gerado pelo MINITAB, conforme apresentado na Figura 8, onde o intervalo de confiança para a média para o pH é formado por  $x_I = 8,1638$  e  $x_S = 8,2317$ .

A última etapa da aplicação da metodologia diz respeito à determinação do resultado de medição ( $R$ ), conforme Eq. (5), onde  $U$  é a incerteza expandida de medição.

$$R = \bar{X} \pm U \quad (5)$$

Para a fase de decantação, aplicando-se o software GUM WORKBECH, a Figura 9. Analisando-se esta figura, constata-se que para esta situação, a incerteza estatística (tipo A) contribui com 99,3% da incerteza combinada. Isto significa que diminuindo-se a

variabilidade, pode-se conseguir reduções expressivas deste valor. Assim, a incerteza expandida de medição obtida é igual a 0,15 pH para um  $k = 2,13$ . Assim, o resultado da medição ( $R$ ) será igual a  $(8,68 \pm 0,15)$  pH. A incerteza expandida relatada é obtida com base em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k$ , fornecendo assim, um nível de confiança de aproximadamente 95%.

Figura 7 – Resumo estatístico para a amostra da decantação

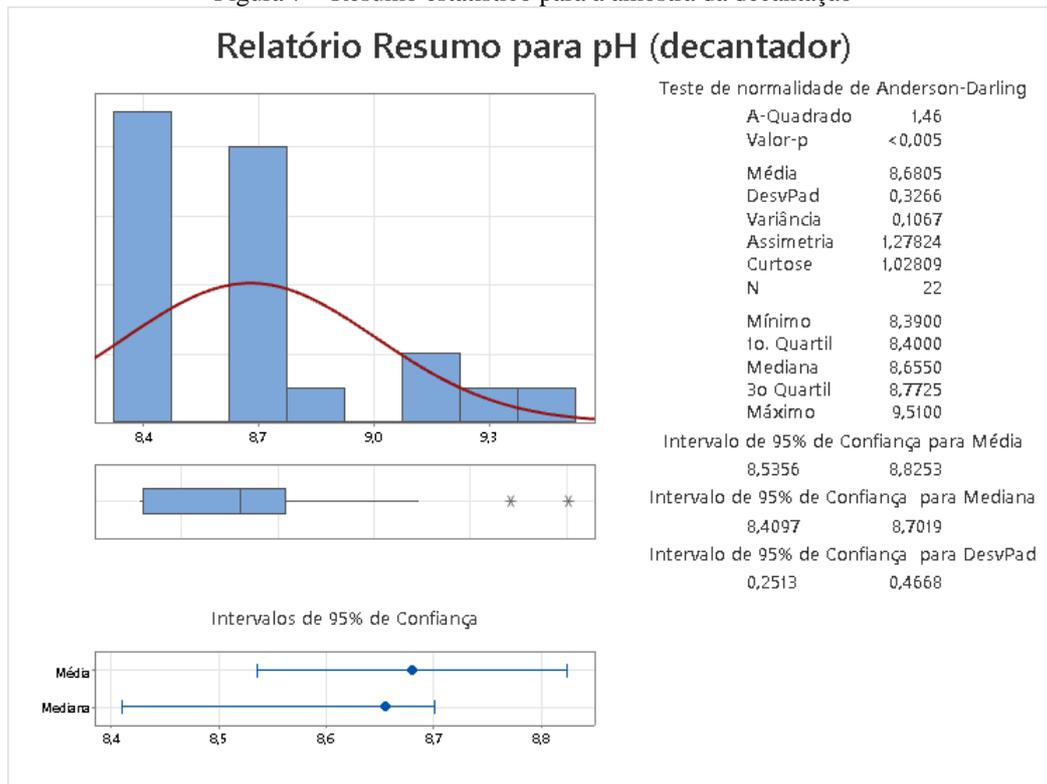


Figura 8 – Resumo estatístico para a amostra da aeração

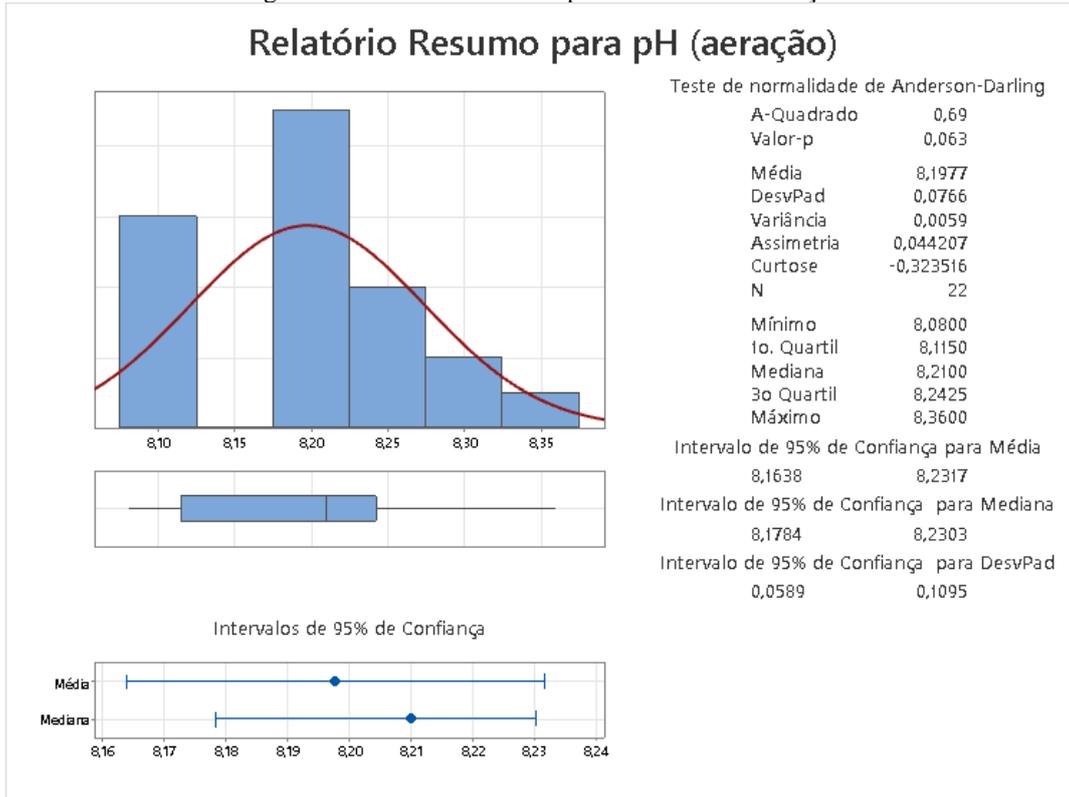
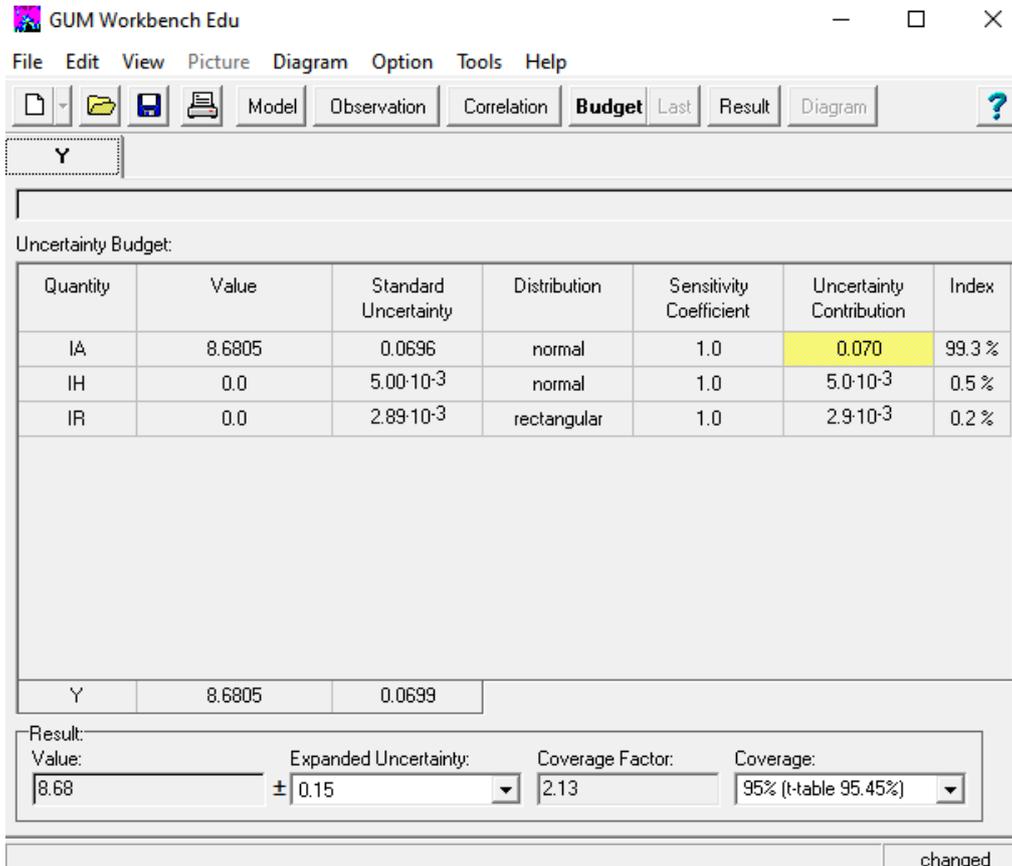


Figura 9 – Incerteza expandida de medição da amostra da decantação



Para a amostra obtida na etapa de aeração, a Figura 10 apresenta os resultados do cálculo da incerteza expandida de medição. Neste caso, a incerteza estatística contribuiu com 88,9% da incerteza combinada, a incerteza herdada do pHmetro com 8,3% e a incerteza da resolução apenas com 2,8%. O resultado de medição é, portanto  $(8,20 \pm 0,037)$  pH para um  $k = 2,11$ . Analisando-se este resultado e considerando-se que os limites de especificação de pH nesta etapa variam de 7,00 a 9,00, pode-se constatar que todo o resultado se encontra dentro da zona tolerável, conforme apresentado na Figura 11. Percebe-se a qualidade do resultado da medição, pois a variação se encontra completamente dentro dos limites permissíveis de variação do pH. É importante salientar que o desenho se encontra em escala. Outra característica que vale a pena destacar diz respeito à variação do resultado de medição se encontrar mais próximo do centro (8,00 pH) que das extremidades. A linha em vermelho indica que há uma probabilidade de aproximadamente 95% de que o valor verdadeiro do pH se encontre nesta faixa entre 8,16 e 8,24 de pH.

Figura 10 – Incerteza expandida de medição da amostra da aeração

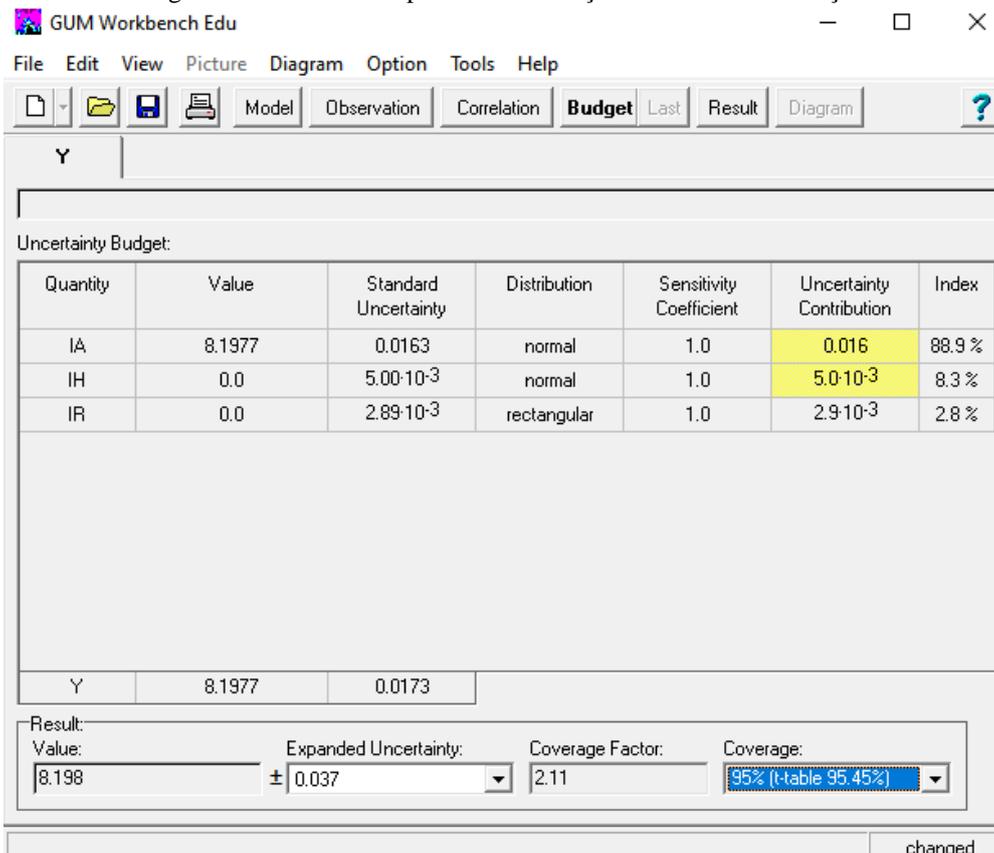
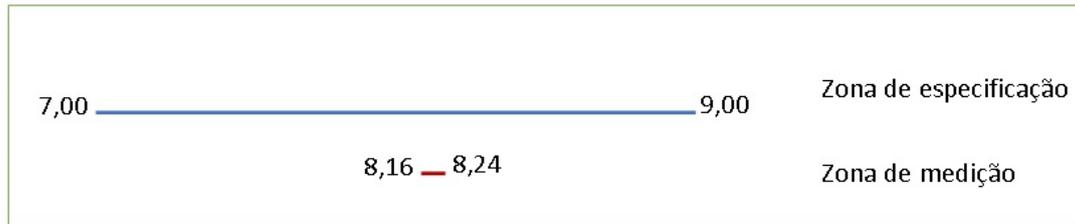


Figura 11 – Zonas de especificação e medição para a amostra da aeração (valores de pH)



## 5 CONCLUSÕES

Durante este estudo, foram obtidos importantes resultados, destacando a análise de normalidade das amostras: os dados do equalizador não provêm de uma população com distribuição normal; assim como na etapa de decantação, onde só foi verificada normalidade no teste de Kolmogorov Smirnov. Uma possível explicação analisada para o equalizador é que não está sendo efetuada a equalização de forma correta. Possivelmente o efluente está sendo recalado para os decantadores com menos de 24 horas de agitação. Em função da aplicação dos testes de normalidade, não foi possível se realizar o estudo estatístico considerando-se os dados normalmente distribuídos para o equalizador. No entanto, foi realizada uma tentativa de ajuste para outras distribuições, utilizando o MINITAB, porém, sem êxito, uma vez que o valor-p foi inferior a 0,05 para todas elas.

Os testes para detecção de *outliers* se mostraram importantíssimos, pois, na empresa, passava-se despercebido o fato de que durante o turno da noite para o da manhã não eram realizados os controles devidos de pH e, por este motivo, o pH da manhã é mais elevado; só se estabilizando após as duas primeiras horas de operação com o seu devido controle. Vale ressaltar a importância de se utilizar um software em que seja aplicado mais de um teste ao mesmo tempo. Se fosse utilizado apenas o teste Q, mais utilizado na química, os valores discrepantes para a fase de decantação não apareceriam.

Outro ponto muito importante avaliado durante o tratamento estatístico foi de verificação de tamanho mínimo de amostra, atualmente é efetuada uma amostra a cada 30 minutos, o que gera 22 amostras por dia. De acordo com o tratamento estatístico realizado, uma amostra a cada hora seria o suficiente, diminuindo pela metade a quantidade de amostragens e, também, diminuindo o custo do processo.

Com relação ao resultado de medição, conclui-se que o processo de aeração, com base na amostra analisada, se encontra relativamente centrado em relação aos limites de especificação e todo o intervalo de incerteza se encontra dentro desses limites.

A incerteza expandida de medição da fase de aeração é aproximadamente 4 vezes menor que a da fase de decantação, o que reflete a qualidade do processo de aeração em relação ao pH na fase de decantação.

Conclui-se que o tratamento estatístico das amostras de pH foi de grande importância para visualização prática das aplicações das ferramentas estatísticas no curso de engenharia. Também, mostrando-se capazes de serem aplicadas não apenas neste caso, mas em todos os casos de engenharia em que se requer controle de processos e análises de possíveis problemas durante a atividade pretendida.

Através do leque de aplicações apresentado neste trabalho foi possível estabelecer para o estudante de graduação uma visão sistêmica e metodológica de como se analisar dados com ênfase na melhoria de processos produtivos. A sua utilização total ou parcial, implicará em um maior controle dos dados medidos, e, conseqüentemente, decisões mais acertadas a respeito do processo, serão tomadas, além de se ter um controle mais confiável a respeito de possíveis causas especiais dentro do processo.

## REFERÊNCIAS

ACIC NORMALIDADE. Download, C2019. Página inicial. Disponível em <<https://sites.google.com/site/acicnormalidade>>. Acessado em 01/08/2022.

ANALYSIS OUTLIERS. Download, C2019. Disponível em <<https://sites.google.com/site/outliersanalysis>>. Acessado em 01/08/2022.

DAVIS, M. **Tratamento de Águas para Abastecimento e Residuárias**. 1 ed. São Paulo: GEN LTC, 2016.

GRUBBS, F. E. **Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples**. American Society for Quality, Technometrics, Vol. 11, No. 1, 1969, p. 1-21.

GUM - **Avaliação de dados de medição: guia para a expressão de incerteza de medição**. INMETRO/CICMA/SEPIN, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, 2012.

GUM WORKBENCH. Download, C2022. Disponível em <[http://www.metrodata.de/download\\_en.html](http://www.metrodata.de/download_en.html)>. Acessado em 02/08/2022.

KAPUR, KAILASH C. **Reability Engineering**. Hoboke, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014.

KECECIOGLU, D. **Reliability and Life Testing Handbook**. Vol. 1 and 2. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1993 and 1994.

KECECIOGLU, D. **Reliability and Life testing Handbook**. Vol. 1, Destech Publications Inc. USA, 2002.

LINK, W. **Tópicos avançados de metrologia mecânica – Confiabilidade metrológica e suas aplicações**. 1ª ed., São Paulo, 2000.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

NETO B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**. 3ª ed. Editora Unicamp, 2007.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 3ª ed. Aracaju, SE: Gráfica e Editora Triunfo Ltda. 2001.

RORABACHER, R. D. B. **Statistical treatment for rejection of deviant values: critical values of Dixon's "Q" parameter and related subrange ratios at the 95% level**. Anal. Chem., 63 (2), 1991, 139 – 146.

SAMPLE SIZE CALC SOFTWARE. Download, C2020. Disponível em <<https://sites.google.com/site/samplesizecalcsoftware>>. Acessado em 02/08/2022.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. **An analysis of variance test for normality (complete samples)**. Biometrika, vol. 52, No. 3/4, (Dec., 1965), 591 – 611.

SHESKIN, D. J. **Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures**. 3<sup>rd</sup> Edition. CRC Press LLC. Florida, 2003.