



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**NICOLAS FAÇANHA BESSA**

**Distribuições Estatísticas Dominantes em Parâmetros de Monitoramento de  
um Sistema de Lagoas de Estabilização**

**FORTALEZA**

**2017**

NICOLAS FAÇANHA BESSA

**Distribuições Estatísticas Dominantes em Parâmetros de Monitoramento de um Sistema de Lagoas de Estabilização**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B465d Bessa, Nicolas.

Distribuições Estatísticas Dominantes em Parâmetros de Monitoramento de um Sistema de Lagoas de Estabilização / Nicolas Bessa. – 2018.

31 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva .

1. Distribuições estatísticas dominantes. 2. Lagoas de estabilização. 3. Análise de garantia. I. Título.

CDD 628

---

NICOLAS FAÇANHA BESSA

**Distribuições Estatísticas Dominantes em Parâmetros de Monitoramento de um Sistema de Lagoas de Estabilização**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Raimundo Oliveira de Souza  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Paulo Coelho de Alcântara  
Engenheiro Químico

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e minha irmã, por sempre acreditarem em mim e me apoiarem.

À minha namorada, por ter me acompanhado e me apoiado no último ano desta jornada.

A todos os outros meus familiares, que de alguma forma me deram suporte.

Aos meus amigos, tanto os da faculdade como os de fora, que tornaram os problemas bem mais fáceis de serem encarados.

*O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano.*

Isaac Newton (1643 - 1727)

## RESUMO

Muitos municípios brasileiros ainda não têm rede de esgotamento sanitário, menos ainda realizam o tratamento adequado destas águas residuais e alguns onde há tal processo, não há uma devida manutenção e acompanhamento, acarretando à um lançamento fora dos padrões normatizados pelo CONAMA e o órgão responsável local. Por isso, é essencial o controle das ETES, para possibilitar a melhor tomada de decisão possível de acordo com a situação da mesma. Existem diversas formas de realizar tal controle, neste trabalho é utilizada a análise de confiabilidade. Sendo objetos de estudo oito parâmetros: pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio Filtrada (DBO e DBO<sub>F</sub>), Demanda Química de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio Filtrada (DQO e DQO<sub>F</sub>), Nitrogênio Amoniacal e Coliformes Termotolerantes. Todos estes parâmetros foram analisados conforme os padrões pré-estabelecidos, utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), para estabelecer qual a distribuição melhor se adapta de acordo com o conjunto de amostras de cada parâmetro e fazendo simulações para verificar suas garantias e falhas, levando em consideração que foram testadas as seguintes distribuições contínuas: Distribuição Normal, Distribuição LogNormal, Distribuição Gama e Distribuição Weibull. As amostras foram retiradas da ETE de Caiçara, a qual são utilizadas lagoas de estabilização, localizada no Rio Grande do Norte. Suas análises demonstram que o tratamento possui um alto valor da garantia da DQO, DQO<sub>F</sub> e do pH, uma razoável no OD, mas quanto os outros, o valor do risco é maior do que a garantia, se destacando o Nitrogênio Amoniacal, o qual tem uma garantia de apenas 3,8%.

**Palavras-chave:** ETE. Tratamento. Confiabilidade. Parâmetros. Padrões. Kolmogorov-Smirnov. Distribuição. Distribuições contínuas.

## ABSTRACT

Many Brazilian cities still don't have a sewage system, even fewer carry out the proper treatment of these wastewater and in those where there is such a process, there is not a proper maintenance and monitoring, leading to a release outside the standards established by CONAMA and the local environmental agency. Therefore, it is essential to control the STSs (Sewage Treatment Stations), to enable the best decision-making possible according to the situation. There are several ways to perform such control, in this work, it is used reliability analysis. The following parameters were studied: pH, Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand and Biochemical Filtered Oxygen Demand (BOD and BOD<sub>F</sub>), Chemical Oxygen Demand and Filtered Oxygen Demand (COD and COD<sub>F</sub>), Ammoniacal Nitrogen and Thermotolerant Coliforms. All these parameters were analyzed according to the pre-established standards, using the Kolmogorov-Smirnov (KS) test, to establish which distribution best fits according to the set of samples of each parameter and making simulations to verify their guarantees and failures, taking into consideration that the following continuous distributions were tested: Normal Distribution, LogNormal Distribution, Gamma Distribution and Weibull Distribution. The samples were taken from the STS of Caiçara, located in Rio Grande do Norte, which uses ponds system. Their analyzes demonstrate that the treatment has a high value of COD, COD<sub>F</sub> and pH guarantee, a reasonable in the DO, but regarding the others, the risk value is higher than the guarantee, pointing out Ammoniacal Nitrogen, which has a guarantee of only 3.8%.

**Keywords:** STS. Treatment. Reliability. Parameters. Standards. Kolmogorov-Smirnov. Distributions. Continuous Distributions.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. MOTIVAÇÃO DO ESTUDO .....</b>	<b>10</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Tratamento de efluentes .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Lagoas de estabilização .....</b>	<b>12</b>
<b>4.3 Parâmetros de lançamento de efluente .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4 Monitoramento da qualidade dos efluentes .....</b>	<b>16</b>
<b>4.5 Distribuição Normal .....</b>	<b>17</b>
<b>4.6 Distribuição Lognormal .....</b>	<b>18</b>
<b>4.7 Distribuição Gama .....</b>	<b>19</b>
<b>4.8 Distribuição Weibull .....</b>	<b>20</b>
<b>4.9 Teste de Kolmogorv–Smirnov .....</b>	<b>21</b>
<b>4.10 Análise de garantia e risco .....</b>	<b>22</b>
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 A série de lagoas do estudo .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2 Parâmetros analíticos de monitoramento .....</b>	<b>23</b>
<b>5.3 Abordagem .....</b>	<b>23</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>6.1 Garantias .....</b>	<b>26</b>
<b>6.2 Avaliação da metodologia .....</b>	<b>29</b>
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>31</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo pesquisa realizada pelo IBGE, em 2000, 97,9% dos municípios do Brasil tinham acesso a água tratada, atingindo quase a totalidade do país. De outra parte, apenas 52,2% dos municípios brasileiros tinha acesso a esgotamento sanitário.

Já em 2008, o próprio IBGE traz o resultado de que 55% dos municípios brasileiros tinham rede coletora de esgoto, mas apenas 29% realizavam o tratamento do esgoto. Caso a coleta e o tratamento adequados não sejam feitos, haverá danos ambientais, além de aumentar os custos para o tratamento de água de abastecimento e constituir ilegalidade.

Todo efluente que for lançado em algum corpo hídrico, deverá seguir os padrões de lançamento na resolução do CONAMA nº 357/05, complementada pela CONAMA nº 30/11, ou mais restritos de acordo normas em nível estadual. Na primeira resolução, também são definidas as características necessárias para o enquadramento dos corpos de água.

Para garantir tais padrões, é necessário o monitoramento dos esgotos e a utilização de algumas ferramentas estatísticas, para que desse modo possam ser feitas as devidas prevenções e precauções no seu funcionamento ou possíveis falhas em sua gestão.

A confiabilidade do processo é extremamente importante em uma avaliação do sistema. Então, através destas análises estatísticas, será possível definir a probabilidade de falha e, conseqüentemente, a garantia dos parâmetros a serem analisados.

## **2. MOTIVAÇÃO DO ESTUDO**

Estudos estatísticos possibilitam uma análise de dados referentes a um certo período de tempo, tornando possível avaliar o comportamento de um sistema. Através dessas informações, o gestor terá embasamento para uma tomada de decisão mais precisa, além de evidenciar qualquer possível falha ou negligência em tal período, mostrando diretrizes para o melhoramento do sistema.

A ETE, depois de já implantada, demanda recursos para operação e manutenção. Quando o acompanhamento é deficiente, há risco de interpretação limitada ou mesmo falha do sistema de tratamento. É essencial que sejam empregados métodos quantitativos que permitam uma análise confiável sobre o desempenho de ETE.

### **3. OBJETIVOS**

Identificar qual distribuição probabilística melhor se adequa a cada um dos parâmetros analisados na ETE, através do teste de Kolmogorov-Smirnov, simulando a escolhida para analisar o grau de atendimento aos valores normativos.

## **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **4.1 Tratamento de efluentes**

A água potável é essencial para existência de qualquer ser vivo e a cada momento sua disponibilidade efetiva vai reduzindo. Quando a população utiliza tal produto, um subproduto é gerado, um efluente, que são as águas residuárias, ou esgoto, como são conhecidas mais popularmente. Após a geração do subproduto, o mesmo terá que ser despejado e o mais provável é que seja em um corpo hídrico, por ser mais barato e prático. Porém, ao realizar tal lançamento, caso não haja nenhum tratamento, o corpo hídrico será contaminado e o que previamente poderia ser uma fonte de água potável, não será mais uma possibilidade.

Para manter essa fonte acessível, o efluente deverá ser devidamente tratado. Para isso, existe um padrão de lançamento definido na resolução do CONAMA nº 430/11, a qual complementa e altera a resolução nº 357/05.

Uma grande parcela da população brasileira ainda não tem acesso a rede de esgoto, o que dificulta seu tratamento, causando a contaminação de corpos hídricos, principalmente por ligações clandestinas. Esse problema está sendo contornado implantando uma rede de esgoto mais abrangente e sendo implantadas mais ETEs. Porém, além da implantação/instalação de todas essas infraestruturas é necessário a manutenção e acompanhamento constante, para que seja mantida a qualidade e eficiência no processo.

### **4.2 Lagoas de estabilização**

São as mais simples formas de tratamento de esgoto, pois demandam baixos custos para implantação, operação e manutenção. As lagoas de estabilização apresentam uma eficiência muito boa na remoção de DBO. De acordo com Jordão e Pessôa (2011), uma investigação de 115 lagoas no Brasil, mostrou que 72% das lagoas facultativas primárias apresentam uma eficiência média de 74% e quando colocadas em série, com anaeróbias seguidas de facultativa, o mesmo índice chega a 82%.

Porém, as lagoas têm algumas desvantagens, principalmente o espaço necessário para sua implantação, pois as mesmas têm uma grande extensão. Outro ponto é o odor que pode ser exalado destes sistemas e por ser de grandes extensões, podem atingir uma grande

parcela da comunidade. Dependendo da forma predominante de estabilização, a lagoa poderá ter as seguintes classificações:

- **Anaeróbias**: onde a fermentação anaeróbia é o processo dominante;
- **Facultativas**: nesta, também ocorre o processo de fermentação anaeróbia, mas também ocorrem a oxidação aeróbia e a redução fotossintética;
- **Maturação**: geralmente é a última lagoa pela qual o efluente passa, sua principal função é remover os organismos patogênicos;
- **Polimento**: esta também é utilizada para remoção de patogênicos, porém, ela serve como um aperfeiçoamento de um prévio tratamento biológico;
- **Aeradas**: nestas lagoas, são introduzidas ferramentas que injetam ar em seu interior. Porém, estas lagoas possuem um alto nível de sedimentos, devendo ter em seguida uma lagoa de decantação.

#### 4.3 Parâmetros de lançamento de efluente

Pela a necessidade de proteção do meio ambiente, tendo por análise a questão das águas no país, e por ser o órgão competente para tal tarefa, o CONAMA elaborou uma resolução para exercer este papel.

Foi criada resolução CONAMA nº 357/05, nela é determinada o enquadramento dos corpos de águas e as condições e parâmetros de lançamento dos efluentes e alguns anos depois foi implementada a resolução CONAMA nº 430/11, a qual complementa e altera a primeira.

Nenhum efluente pode ser lançado em um corpo hídrico caso sua qualidade não seja boa o suficiente para alterar o enquadramento dos mesmos. As resoluções do CONAMA têm como por intuito evitarem que isso aconteça. Os seguintes padrões são estabelecidos pela resolução CONAMA nº430/11, para garantir a qualidade do efluente:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

Além dos padrões estabelecidos pelo CONAMA, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) também elaboraram alguns padrões de lançamentos, que não podem revogar o do órgão federal, mas podem ser mais restritivos, os quais estão dispostos na Portaria nº 154/02, porém foram alterados, no ano de 2017, pela resolução do COEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente) nº 02/17. No art. 11º desta resolução, podem ser encontrados 10 padrões de lançamento, porém, alguns se repetem com o da resolução do CONAMA, sendo esses os diferentes:

IV - Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO 5 dias, 20°C: até 120 mg/L;

a) Para os casos de lagoa de estabilização, nas análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) a amostra deverá ser filtrada em filtro de fibra de vidro e poro com Ø 0,7 a 1,0 µm;

VIII - NMP de coliformes fecais: 5000 CF/100 mL;

IX- Sólidos suspensos totais, da seguinte forma

a) até 150 mg/L para lagoas de estabilização;

b) até 100 mg/L, para as demais tecnologias.

XII- Demanda Química de Oxigênio (DQO): 200,0 mg/L;

### **4.3.1 Temperatura**

A temperatura é um parâmetro físico de grande importância, uma vez que afeta a saturação de oxigênio dissolvido nos corpos d'água, as taxas das reações biológicas e das reações químicas. É particularmente importante no tratamento biológico, devendo os parâmetros típicos de projeto serem corrigidos de acordo com a temperatura (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

A temperatura é um parâmetro que exerce influência em muitos outros. Então mesmo não sendo o foco das análises, é essencial seu acompanhamento para entender o comportamento de todos os outros.

### **4.3.2 pH**

O potencial Hidrogênico, mais conhecido como pH, é representado pelo logaritmo do inverso da concentração de  $H^+$ . Este parâmetro expressa se o efluente é ácido, alcalino ou neutro (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Um pH baixo poderá ocasionar corrosão de estruturas, enquanto um alcalino poderá causar incrustações e um decorrente entupimento. Além de exercer influência no comportamento biológico dos efluentes.

O pH do efluente tratado não poderá se distanciar muito do valor de neutralidade, que no caso é 7, pois a vida no ambiente aquático só é possível de existir em um intervalo de pH entre 6 e 9.

### **4.3.3 OD, DBO e DQO**

O Oxigênio Dissolvido (OD) é essencial para sobrevivência de qualquer tipo de vida subaquática aeróbia. As bactérias desse tipo realizam a degradação da matéria orgânica e consomem o oxigênio transformando-o em gás carbônico. Então quanto mais matéria orgânica precisar ser consumida, mais OD será necessário (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é o parâmetro que determina a quantidade de OD será necessária para que toda a matéria orgânica biodegradável naquele corpo hídrico seja oxidada. Logo, é possível perceber que o OD e a DBO são parâmetros

inversos, pois quanto mais matéria orgânica tenha que ser degradada, ou seja, maior a DBO, menos oxigênio estará disponível no meio.

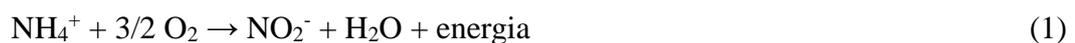
A Demanda Química de Oxigênio (DQO) representa a quantidade de oxigênio necessário para oxidação de compostos orgânicos quando é utilizado um agente químico forte em solução ácida, geralmente o dicromato de potássio. Uma grande vantagem em relação à DBO é sua velocidade de reposta da análise, que leva algumas horas, enquanto na segunda são dias.

Através de uma comparação entre os resultados das análises da DQO e da DBO, ajuda a selecionar qual tipo de tratamento deverá ser utilizado para aquele afluente. Quando a DQO for menor ou igual ao dobro da DBO, é ideal um tratamento biológico. Caso a DQO seja maior que isso, o ideal será a utilização de um tratamento físico químico.

#### **4.3.4 Nitrogênio amoniacal**

O nitrogênio amoniacal representa grande parte da forma na qual o nitrogênio é encontrado nos esgotos.

No esgoto, a amônia ira sofrer um processo de nitrificação, sendo a mesma transformada para nitrato e em seguida em nitrito, através de um processo de oxidação (JORDÃO; PESSÔA, 2011). Estas são as reações:



O nitrogênio é extremamente necessário para os processos biológicos aeróbios, porém, caso seja encontrado em grande quantidade, o corpo hídrico sofrerá eutrofização. Além disso, a amônia livre é tóxica aos peixes.

#### **4.4 Monitoramento da qualidade dos efluentes**

É necessário o monitoramento de todas as estações, para que seja que possa ser analisada a eficiência da mesma e se não há nenhuma ocorrência diferente do esperado. O principal modo de desempenhar este acompanhamento, é analisando de perto os indicadores,

se estão seguindo os padrões de lançamento e se não há nenhum distúrbio nos mesmos (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

O monitoramento, permitirá ao gestor uma tomada de decisão mais consciente, porém, é importante levar em consideração o tipo de tratamento que está sendo utilizado, pois poderá ser muito eficiente em alguns parâmetros e em outros não.

#### 4.5 Distribuição Normal

É o modelo mais utilizado de distribuição contínua, também é conhecida como distribuição gaussiana. Um dos motivos da sua grande aplicabilidade, é o teorema do limite central.

Toda vez que um experimento aleatório for replicado, a variável aleatória que for igual ao resultado médio (ou total) das réplicas tenderá a ter uma distribuição normal, à medida que o número de réplicas se torne grande (MONTGOMERY; RUNGER, 2009). A densidade de probabilidade de uma distribuição normal é a seguinte:

$$f = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3)$$

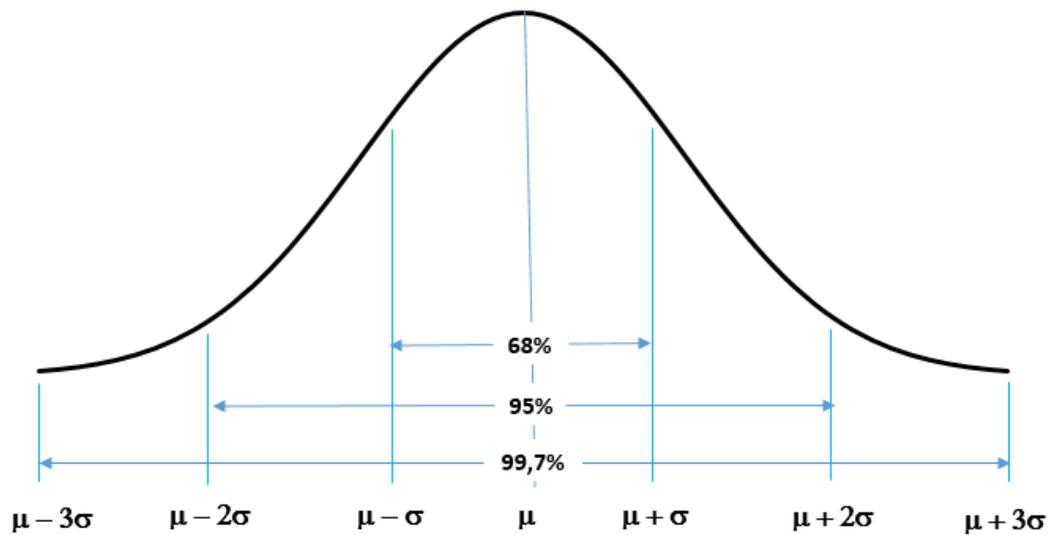
O gráfico da distribuição normal, tem um formato de sino, isso acontece porque o ápice da sua curva é no meio, ou seja, na média das observações. Além disso, nas distribuições normais, a média, a moda e a mediana são iguais.

A área abaixo da curva representa 100% das observações, porém caso queira definir a probabilidade em algum outro intervalo, deverá ser feita a integral da área dos respectivos intervalos, porém, para facilitar, é utilizada a distribuição normal reduzida, que poderá definir uma variável Z da seguinte forma:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

Passando assim a ter média igual a zero e desvio padrão igual a um.

Figura 1 – Probabilidades associadas com uma distribuição normal.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

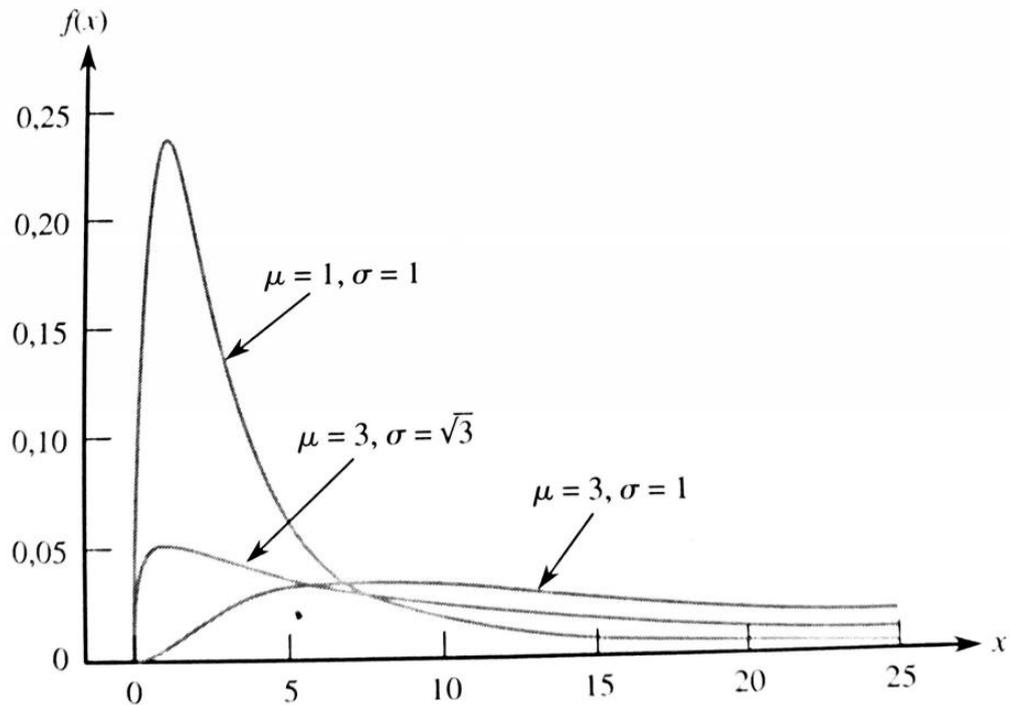
#### 4.6 Distribuição Lognormal

A distribuição Lognormal acontece quando, ao analisar uma variável aleatória, seu logaritmo se comporta exatamente como igual a distribuição normal. Considerando  $x$  como sendo a variável,  $y = \ln(x)$ . Sua função de densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x; \mu; \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ \frac{-(\log(x) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (5)$$

Esta função apenas será válida caso  $x > 0$ , caso contrário, a função será igual a zero.

Figura 2 – Curvas de distribuição Lognormal



Fonte: Devore (2011)

#### 4.7 Distribuição Gama

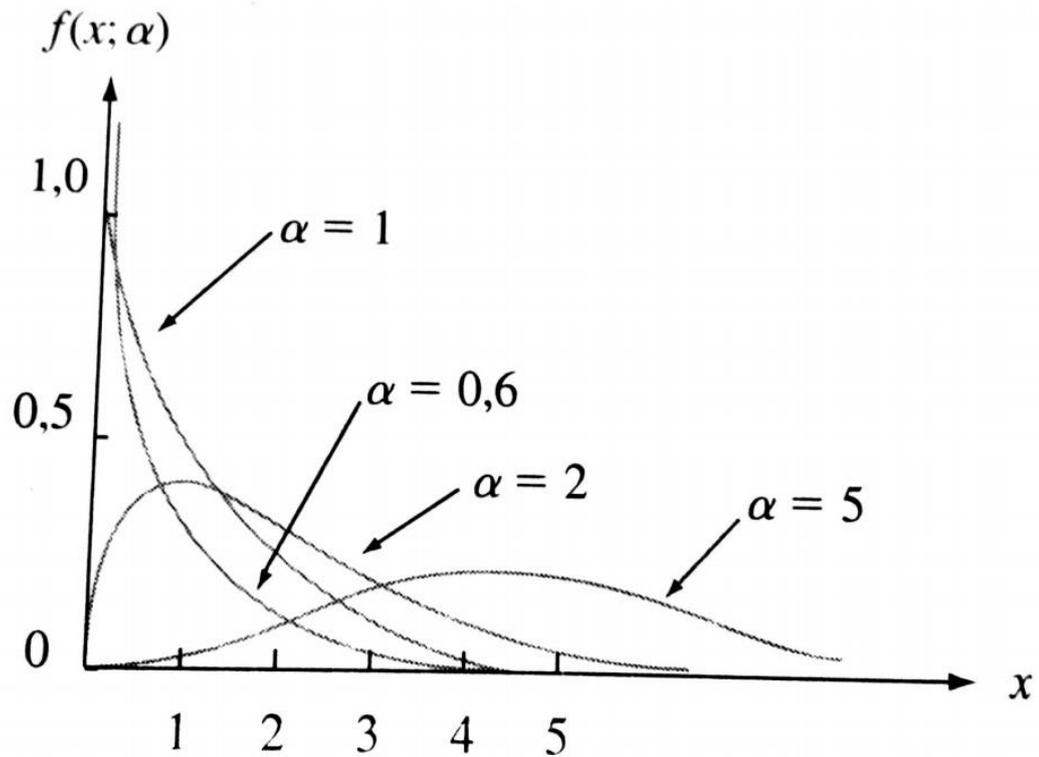
A distribuição gama geralmente é utilizada para análise de tempo de vida de materiais. Ela é utilizada na modelagem de dados cujo os valores são maiores que zero e assimétricos à direita.

Uma variável  $X$  de uma distribuição gama terá dois parâmetros, sendo o primeiro o  $\alpha$ , chamado de forma, e o outro o  $\beta$ , o qual é chamado de escala. Sua densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \frac{\beta^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)} \quad (6)$$

Esta função apenas será válida caso  $x \geq 0$ , caso contrário, a função será igual a zero.

Figura 3 – Curvas de distribuição Gama



Fonte: Devore (2011).

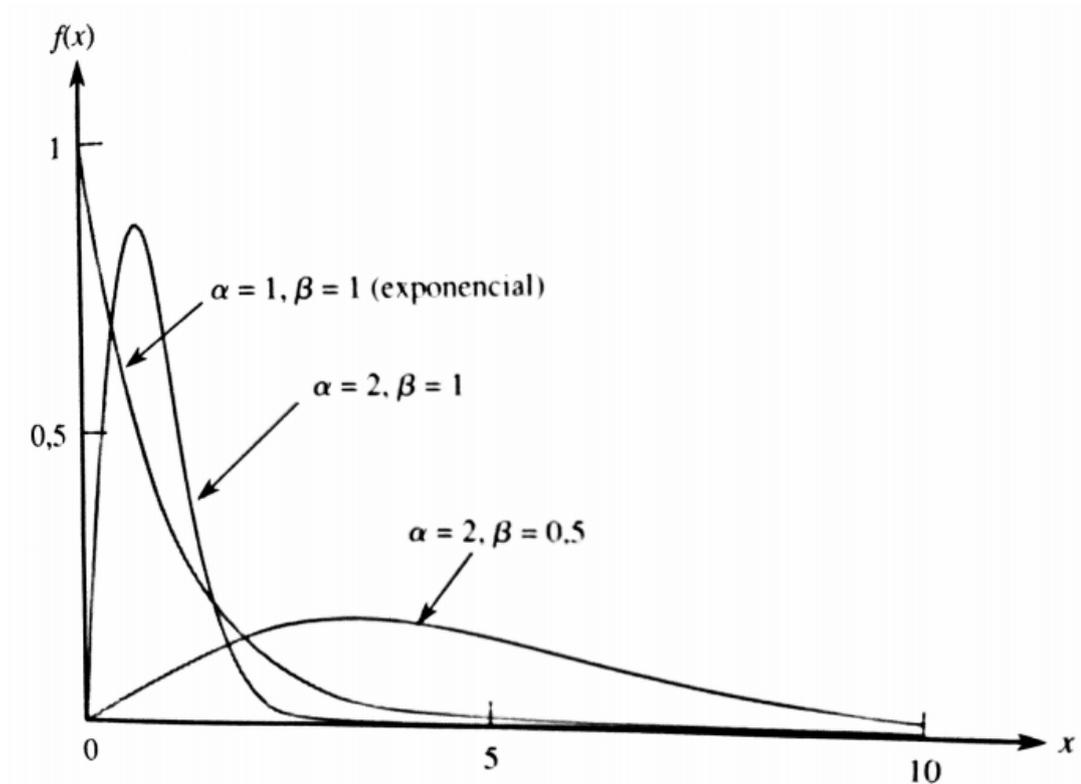
#### 4.8 Distribuição Weibull

A distribuição Weibull geralmente é relacionada ao tempo de falha de produtos, onde é mais comumente utilizada. Ela pode ser aplicada quando o número de falhas aumenta, diminui ou permanece constantes com o tempo.

Sua densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp \left[ -\left( \frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (7)$$

Figura 4 – Curvas de distribuição Weibull



Fonte: Devore (2006)

Esta função apenas será válida caso  $x > 0$ , caso contrário, a função será igual a zero.

Linearizando a equação da distribuição acumulada, utilizando logaritmos, poderá ser plotado um gráfico com uma equação da reta  $y = mx + c$ . Tendo a equação, torna-se possível identificar os parâmetros da distribuição Weibull, sendo  $\beta = m$  e  $\alpha = \exp(c/\beta)$ .

#### 4.9 Teste de Kolmogorov–Smirnov

O teste de Kolmogorov–Smirnov (KS) é utilizado para comparar dados, os quais não tem uma distribuição ainda definida.

A função do teste de KS é medir a distância entre a curva da função da distribuição empírica, ou seja, dos dados analisados, e a curva da distribuição a qual está sendo analisada. Tal distância é chamada de  $D_N$  e deverá ser menor que  $D_C$ , uma distância crítica tabelada.

Comparando as  $D_N$  de todas as distribuições, a que for menor, será a mais indicada a ser feita análise.

#### 4.10 Análise de garantia e risco

Para a implantação de uma ETE, é necessário identificar e reduzir ao máximo as incertezas desde do projeto à operação. Desse modo, aumentará a eficiência da estação, diminuindo as probabilidades de acontecer algo inesperado.

Deste modo, levando em consideração os padrões dos parâmetros, a falha ocorre quando a concentração do parâmetro não atingi o definido nos padrões. Apesar de ser muito difícil ter um risco de falha igual, além de não ser economicamente viável, pois seriam necessários gastos com tecnologias mais avançadas, é necessário que seja reduzido ao máximo, aumentando a confiabilidade da estação.

A garantia e o risco de falha através de simulação tipo Monte Carlo são dados do seguinte modo (DEVORE, 2011):

$$\text{Garantia} = 1 - \text{Probabilidade de Falha} \quad (8)$$

$$\text{Probabilidade de Falha} = (\text{Valores simulados acima do padrão} / \text{total de simulações}) \quad (9)$$

A simulação é feita adotando várias variáveis aleatórias e utilizando o inverso da distribuição mais adequada, que previamente terá sido escolhida através do teste KS.

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 A série de lagoas do estudo**

Para a realização deste estudo, foi escolhida uma série de lagoas de estabilização em escala real. A série era composta de uma lagoa facultativa primária, seguida de uma lagoa de maturação primária e finalizando com uma lagoa de maturação secundária.

A unidade escolhida foi a ETE de Caiçara do Rio do Vento, localizada no Estado do Rio Grande do Norte, situando-se nas seguintes coordenadas: 5°45'27"S - 35°59'44"W. A estação tinha uma área superficial de aproximadamente 1120 m<sup>2</sup> e operava com uma vazão de 108 m<sup>3</sup>/dia. A seleção do sistema foi decorrente a sua disponibilidade de dados, conferindo uma maior base de informação para a realização das análises.

### **5.2 Parâmetros analíticos de monitoramento**

Para a realização do estudo do tratamento abordado, foram considerados os seguintes parâmetros de monitoramento: potencial Hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda bioquímica de oxigênio filtrada (DBO<sub>F</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), demanda química de oxigênio filtrada (DQO<sub>F</sub>), nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes.

As amostras foram de efluentes foram coletadas no período entre maio de 2009 e abril de 2010, com temperatura média de 30 °C. As análises foram feitas de acordo com os procedimentos especificados pela CAERN (Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte).

### **5.3 Abordagem**

As garantias do sistema de lagoas de estabilização foram consideradas com base nas seguintes distribuições a serem testadas:

- a) Distribuição Normal;

- b) Distribuição Log Normal;
- c) Distribuição Gama e
- d) Distribuição Weibull.

Sendo utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov para decidir qual delas se enquadravam melhor no parâmetro em questão.

### 5.3.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov

Este teste é utilizado quando ao analisar um conjunto de amostras de dados, sendo que os mesmos não têm uma distribuição já definida. Nestas condições, entra o papel do teste Kolmogorov-Smirnov ou teste KS, onde através de tentativas, torna-se possível determinar qual das distribuições melhor se adequa ao comportamento dos dados em análise.

O teste consiste em observar a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição empírica dos dados e a função de distribuição acumulada utilizada para os dados (PORTAL ACTION, 2014). Em uma amostra aleatória simples  $X_1, X_2, \dots, X_n$  de uma população com função de distribuição acumulada contínua  $F_x$ , não determinada, tem-se:

$$D_n = \text{máx} |F_n(x) - F(x)| \quad (10)$$

O que significa que  $D_n$  será o resultado máximo na tabela resultante da equação 10, sendo que  $F_n$  é a distribuição contínua e  $F$  é a distribuição assumida.

Porém, caso  $F_n$  seja uma distribuição descontínua e  $F$  é contínua, são consideradas duas estatísticas:

$$D^+ = \text{máx} |F_n(x_{(i)}) - F(x_{(i)})| \quad (11)$$

$$D^- = \text{máx} |F_n(x_{(i)}) - F(x_{(i-1)})| \quad (12)$$

As duas equações servem para medir a distância vertical da função empírica e teórica, no gráfico. Após as duas terem sido calculados,  $D_n$  é definido com o máximo entre elas:

$$D_n = \text{máx} (D^+, D^-) \quad (13)$$

Após definido o valor de  $D_n$ , comparamos com o valor crítico, chamado de  $D_c$ , o qual pode ser observado na tabela 1, onde  $n$  é o número de observações e o  $\alpha$  foi adotado como sendo 0,05 neste trabalho.

Tabela 1 – Tabela de Valores Críticos de Kolmogorov - Smirnov

**Para  $\alpha = 0,05$**

<b>n</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>n</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>n</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>n</b>	<b><math>\alpha</math></b>
1	0,9750	11	0,3912	21	0,2872	31	0,2379
2	0,8419	12	0,3754	22	0,2809	32	0,2342
3	0,7076	13	0,3614	23	0,2749	33	0,2308
4	0,6239	14	0,3489	24	0,2693	34	0,2274
5	0,5633	15	0,3376	25	0,2640	35	0,2242
6	0,5193	16	0,3273	26	0,2591	36	0,2212
7	0,4834	17	0,3180	27	0,2544	37	0,2183
8	0,4543	18	0,3094	28	0,2499	38	0,2154
9	0,4300	19	0,3014	29	0,2457	39	0,2127
10	0,4092	20	0,2941	30	0,2417	40	0,2101

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Para que a distribuição analisada seja aceita,  $D_n$  deve ser menor do que  $D_c$ , caso isso não aconteça, a mesma será rejeitada.

Depois de realizar o teste para todas as quatro distribuições levadas em consideração neste trabalho, a que melhor se adequa, é a que tiver o menor valor de  $D_n$ .

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Garantias

Para o cálculo da garantia deste estudo, foram utilizados os seguintes padrões estipulados pelas normas, podendo ser do CONAMA ou da SEMACE:

- pH: entre 5 e 9;
- DQO filtrada máxima: 200 mg/L;
- Coliformes Termotolerantes máximo: 5000 CF/ 100 mL.

Além destes padrões estabelecidos pela norma, alguns outros foram estabelecidos, para que fosse possível a análise, são eles:

- OD mínimo: 2 mg/L;
- DBO máxima: 120 mg/L;
- DBO filtrada máxima: 60 mg/L;
- DQO máxima: 450 mg/L;
- Nitrogênio Amoniacal: 20 mg/L;

Após serem feitas os estudos conforme o descrito no item 5, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 2 – Garantia para pH (entre 5 e 9)

<b>pH</b>		
<b>Etapa Monitorada</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Garantia</b>
Esgoto Bruto	Weibull	84,98%
Lagoa Facultativa Primária	Normal	99,90%
Lagoa de Maturação Primária	Gama	98,99%
Lagoa de Maturação Secundária	Gama	99,90%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 3 – Garantia para OD ( $\geq 2$  mg/L).

<b>OD</b>		
<b>Etapa Monitorada</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Garantia</b>
Esgoto Bruto	-	-
Lagoa Facultativa Primária	Normal	62,15%
Lagoa de Maturação Primária	Normal	51,76%
Lagoa de Maturação Secundária	Gama	65,22%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Tabela 4 – Garantia para DBO ( $\leq 120$  mg/L)

<b>DBO</b>		
<b>Etapa Monitorada</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Garantia</b>
Esgoto Bruto	Normal	0,00%
Lagoa Facultativa Primária	Normal	5,44%
Lagoa de Maturação Primária	Gama	21,37%
Lagoa de Maturação Secundária	Normal	25,03%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Tabela 5 – Garantia para DBO Filtrada ( $\leq 60$  mg/L)

<b>DBO Filtrada</b>		
<b>Etapa Monitorada</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Garantia</b>
Esgoto Bruto	Gama	0,00%
Lagoa Facultativa Primária	Gama	0,60%
Lagoa de Maturação Primária	Gama	12,80%
Lagoa de Maturação Secundária	Gama	18,04%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Tabela 6 – Garantia para DQO ( $\leq 450$  mg/L)

<b>DQO</b>		
<b>Etapa Monitorada</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Garantia</b>
Esgoto Bruto	Weibull	2,92%
Lagoa Facultativa Primária	Weibull	49,90%
Lagoa de Maturação Primária	Normal	57,07%
Lagoa de Maturação Secundária	Weibull	81,25%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Tabela 7 – Garantia para DQO Filtrada ( $\leq 200$  mg/L)

<b>DQO Filtrada</b>		
<b>Etapa Monitorada</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Garantia</b>
Esgoto Bruto	Gama	13,81%
Lagoa Facultativa Primária	Gama	81,25%
Lagoa de Maturação Primária	Weibull	80,34%
Lagoa de Maturação Secundária	Gama	85,99%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 8 – Garantia para Nitrogênio Amoniacal ( $\leq 20$  mg N /L).

<b>Nitrogênio Amoniacal</b>		
<b>Etapa Monitorada</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Garantia</b>
Esgoto Bruto	Normal	5,46%
Lagoa Facultativa Primária	Gama	1,31%
Lagoa de Maturação Primária	Normal	2,22%
Lagoa de Maturação Secundária	Normal	3,83%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 9 – Garantia para Coliformes Termotolerantes ( $\leq 5000$  CF/100 mL).

<b>Coliformes Termotolerantes</b>		
<b>Etapa Monitorada</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Garantia</b>
Esgoto Bruto	Weibull	2,92%
Lagoa Facultativa Primária	Gama	1,21%
Lagoa de Maturação Primária	Gama	3,93%
Lagoa de Maturação Secundária	Gama	25,40%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Ao simular algumas distribuições normais, foram obtidos resultados negativos. Para fim deste estudo, estes foram desconsiderados, pois não são coerentes com os parâmetros em questão.

É possível observar que na maioria dos parâmetros, a garantia na etapa do Esgoto Bruto, é muito baixa. Essa situação já era esperada, pois, como já diz o nome, o efluente ainda não passou por nenhum tratamento. Porém, o pH já aparece com uma garantia consideravelmente alta, de aproximadamente 85%, o que significa que o efluente já é próximo da neutralidade. Não existe um valor definido para OD, pois o teste não é realizado para esta etapa.

A Lagoa Facultativa, tem como principal função a remoção de matéria orgânica, então os principais parâmetros a serem analisados nesta etapa é a DBO e a DQO. A garantia

da DQO tem um aumento bem mais significativo do que o da DBO, mostrando que o processo foi bem mais eficiente na remoção de matéria orgânica não biodegradável. Porém é possível perceber que o pH já chega em uma garantia muito alta, já bem próxima dos 100%.

As lagoas de maturação já são as últimas etapas do tratamento, onde é possível observar que os parâmetros atingem a maior garantia durante o tratamento, onde o OD tem um resultado de 65,22% em sua garantia, a DQO e a DQO Filtrada atingem 81,25% e 85,99%, respectivamente, e o pH chegando a 99,9%, um resultado quase perfeito. Todos esses parâmetros tiveram um bom resultado, apesar de o OD não ter sido tão satisfatório quanto os outros.

Quando os outros parâmetros são analisados, não é possível obter a mesma conclusão relativa aos primeiros. A DBO e a DBO Filtrada ficam com uma garantia de 25,03% e 18,04%, respectivamente, e os Coliformes Termotolerantes atingiram uma garantia de 25,40%. É possível perceber que o tratamento não demonstrou muita eficiência destes parâmetros, tendo por base os padrões pré-estabelecidos. Porém, o Nitrogênio Amoniacal teve um resultado ainda muito mais destoante, alcançando uma garantia de apenas 3,83%, mostrando que este processo de tratamento é bastante ineficaz para este parâmetro.

## **6.2 Avaliação da metodologia**

A metodologia utilizada para obtenção do resultado através do teste de Kolmogorov-Smirnov, foi bastante eficiente, pois os parâmetros analisados não tinham uma distribuição a qual pudesse facilmente ser identificada. O teste KS possibilitou uma identificação mais assertiva possível tendo por base as amostras estudadas.

É uma metodologia completamente replicável para análise de qualquer banco de dados em questão, caso não tenha uma distribuição já definida a ser utilizada, como é utilizada para todos os parâmetros no presente trabalho.

## 7. CONCLUSÃO

O método utilizado permitiu a análise de confiabilidade das Lagoas de estabilização de Caiçara. Os estudos feitos permitiram a análise de confiabilidade dos oito parâmetros apontados previamente. Sendo a DQO, a  $DQO_F$  e o pH apresentando bons valores de garantia, o OD apresentou um resultado razoável, mas a DBO, a  $DBO_F$  e os Coliformes Termotolerantes apresentaram um risco consideravelmente elevado, enquanto para o Nitrogênio Amoniaco o processo se mostrou bastante ineficaz, pois o mesmo apresentou uma garantia de apenas 3,8%.

Alguns parâmetros tiveram mais de uma função nas etapas do tratamento, mostrando que os mesmos podem se comportar de forma diferente, dependendo da etapa que é analisada.

O teste de Kolmogorov-Smirnov mostrou-se eficiente para determinar a garantia de uma ETE, podendo facilmente ser replicável para outras estações ou parâmetros, permitindo identificar qual distribuição melhor se adapta ao parâmetro analisado.

Para futuros trabalhos, sugere-se:

- Análise de dados referentes a anos diferentes, para possibilitar uma comparação, identificando se a eficiência da estação está aumentando, diminuindo, se mantendo ou se houve algum erro de leitura;
- Utilizando uma maior quantidade de dados, também possibilitaria uma maior consistência de qual distribuição melhor se adequa ao parâmetro em questão;
- Utilizar dados de estações com diferentes métodos de tratamento, afim de realizar comparações de resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de Esgotos Doméstico**. 4. ed. Rio de Janeiro: S.n., 2005. 932 p.

SANTOS, A.B. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgoto**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2007. 206 p.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 7. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

DEVORE, J.L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 692 p. Tradução de: Joaquim Pinheiro Nunes da Silva.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento 2000**. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>> Acesso em: 4 de dezembro de 2017.

RODRIGUES, C. **Rede coletora de esgoto**. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096\\_cap8.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap8.pdf)> Acesso em: 2 de dezembro de 2017.

PORTAL ACTION. **Teste de Kolmogorov-Smirnov**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/inferencia/62-teste-de-kolmogorov-smirnov>> Acesso em: 8 de dezembro de 2017.