

# CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO QUE INCORPORA O OXIGÊNIO DO AR ATMOSFÉRICO COM AUMENTO DOS VALORES DO POTENCIAL DE OXIRREDUÇÃO DA ÁGUA

Gerson Henna<sup>1</sup>; Rogéria Maria Alves de Almeida<sup>2</sup>

## Resumo

A água é um elemento indispensável para a manutenção da vida em todos os ambientes, com o surgimento das aglomerações humanas, as fontes naturais de água tem sofrido grande pressão por sua exploração excessiva, má utilização e poluição, a água também é um meio muito comum de transmissão de doenças causadas por microrganismos. O objetivo deste artigo foi montar um dispositivo que incorpora oxigênio do ar através da passagem da água por uma estrutura que fraciona a água em pequenas quantidades, aumentando sua superfície de contato com o ar atmosférico e em um segundo momento cria uma força de arrasto intensificando o escoamento turbulento que ajuda nessa incorporação, proporcionando o aumento do Potencial de Oxirredução (ORP). Foram realizadas medições para aferir o aumento do ORP junto ao Departamento de Biologia da UNESP, Campus de Bauru e testes de controle de contaminação no Laboratório de Microbiologia da FATEC, Faculdade de Tecnologia de Bauru. Foram conseguidas reduções nas Unidades Formadoras de Colônia (UFC/mL) com resultados iniciais expressivos, podendo o princípio de funcionamento deste equipamento ser utilizado, juntamente com outros processos já existentes, no controle de contaminações causadas por microrganismos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Contaminação por microrganismos, ORP, tratamento de água.

## Abstract

Water is an indispensable element for the maintenance of life in all environments, with the emergence of human agglomerations, natural sources of water has been under great pressure by its excessive exploitation, misuse and pollution, water is also a very common medium Transmission of diseases caused by micro-organisms. The objective of this article was to assemble a device that incorporates oxygen from the air through the passage of the water through a structure that fractionates the water in small amounts, increasing its surface of contact with the atmospheric air and in a second moment creates a drag force intensifying the Turbulent flow that helps in this incorporation, providing increased Oxidation Potential (ORP). Measurements were taken to measure the increase of ORP in the Department of Biology of UNESP, Campus of Bauru and contamination control tests in the Microbiology Laboratory of FATEC, Faculty of Technology of Bauru. Reductions were achieved in Colony Forming Units (CFU / mL) with expressive initial results, and the principle of operation of this equipment could be used, along with other existing processes, to control contaminations caused by microorganisms.

**KEY-WORDS:** Contamination by micro-organisms, ORP, water treatment.

---

<sup>1</sup> Graduando do Curso de Sistemas Biomédicos da Faculdade de Tecnologia de Bauru. E-mail: gersonhenna@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutora em Microbiologia pela Universidade de São Paulo-USP, professora da Faculdade de Tecnologia de Bauru-FATEC. E-mail: rogeriaalmeida14@gmail.com

## **Introdução**

O consumo consciente e a conservação dos recursos hídricos são temas abordados em diversas discussões a respeito do meio ambiente. Não podemos tratar desse assunto sem mencionar a relação entre os seres vivos entre si e com os diferentes ambientes que habitam, o respeito a essas relações e a preservação dos ambientes onde elas acontecem, é muito mais do que uma questão política ambiental pública, mas uma questão de sobrevivência e preservação dos recursos naturais para utilização a médio e longo prazo. No entanto, devido a exploração intensiva dos recursos naturais, o progresso da humanidade tem levado a extinção inúmeras espécies e o esgotamento dos recursos naturais. A atividade humana gerou a poluição do ar, solo, água e provocou desmatamento em um ritmo alarmante (DEZOTTI, 2008).

Nos últimos 100 anos houve um aumento populacional, que associado a busca por melhores condições de vida, levou também a um aumento na produção agrícola e industrial, os resíduos decorrentes da utilização de compostos químicos sintéticos em maior escala trouxeram uma série de alterações a qualidade da água. Por se tratar de um recurso esgotável problemas relacionados a poluição e deterioração da qualidade da água são extremamente preocupantes. O estudo e conhecimento a respeito das fontes de poluição, efeitos e interações que ocorrem em ambiente aquático são muito importantes para gerar controles capazes de proporcionar um ambiente de exploração seguro e sustentável. A distribuição de água no nosso país é bastante desigual, a água para consumo humano deve seguir certos padrões para sua utilização, que vão de uma simples fervura a complexos processamentos. É indiscutível a importância do consumo regular de água pelo organismo humano. Apesar disso a água é um meio comum de transmissão de doenças, sem a qualidade necessária, a água utilizada no cultivo de alimentos ou ingerida pode trazer inúmeras doenças. Grande parte das doenças transmitidas pela água são causadas por microrganismos que podem ser eliminados com tratamento adequado (OLIVEIRA, et al., 2012).

Um percentual muito grande das águas, depois de utilizadas para o abastecimento público e nos processos produtivos, retorna suja os cursos d'água, comprometendo sua qualidade para os diversos usos. Dependendo do grau de poluição, essa água residual pode ser imprópria para a vida. Mau cheiro e sabor acentuado poderão trazer problemas em uma nova operação de purificação e tratamento dessa água (PIMENTA, 2010).

Segundo dados do BNDES (1998), 65% das internações hospitalares de crianças menores de 10 anos estão associadas à falta de saneamento básico.

No Brasil, estima-se que 80% das doenças e mais de um terço das mortes estão associadas à utilização e consumo de águas contaminadas. A hepatite infecciosa, o cólera, a disenteria e a febre tifóide são exemplos de doenças de veiculação hídrica (GALAL-GORCHEV, 1996).

O controle de microrganismos causadores de contaminação é um assunto que gera muita discussão devido ao impacto direto que podem gerar no dia-a-dia das pessoas. O aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos processos é essencial, levando-se em consideração a capacidade que certos microrganismos possuem de desenvolver métodos de sobrevivência aos procedimentos de desinfecção existentes.

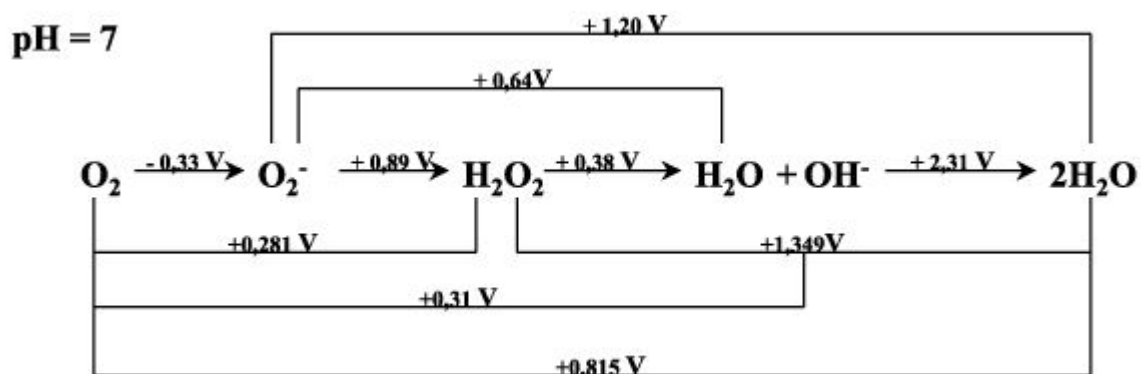
O objetivo deste trabalho foi desenvolver o princípio de funcionamento de um equipamento capaz de diminuir uma contaminação causada por microrganismos. O equipamento utiliza água que é constantemente re-circulada por uma câmara de reação que incorpora oxigênio do ar à água, aumentando o seu potencial de oxirredução (ORP).

## 1 Potencial de oxirredução

O potencial de oxirredução ou oxidação/redução (ORP – Oxidation Redution Potencial) basicamente é a característica apresentada por elementos químicos de ceder (ser oxidada) ou adquirir (ser reduzida) elétrons. A ORP é medida em volts pela escala Eh, ele pode ser medido com a utilização de diferentes eletrodos (o mais utilizado é o eletrodo de Ag/AgCl) (JARDIM, 2014).

A redução do oxigênio ocorre em etapas, em condições estáticas o oxigênio reage de maneira lenta no processo de oxidação (ANDRADE; MARTINS; 2002). A molécula de oxigênio é reduzida do estado de oxidação zero até o estado de oxidação -2, formando H<sub>2</sub>O ou OH<sup>-</sup> (BENEDITO FILHO; FIORUCCI; 2005).

**Figura 1** - Potenciais de oxidação/redução do oxigênio em água



Fonte: Andrade; Martins (2002)

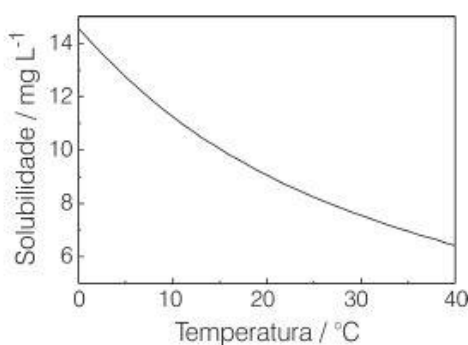
A água saturada por oxigênio é um bom oxidante, a reação de oxirredução do oxigênio em água, envolvendo a transferência de elétrons pode ser descrito pela seguinte fórmula (figura 1 – página anterior) (ANDRADE; MARTINS, 2002).

## 2 Oxigênio dissolvido

A concentração de oxigênio na água depende diversos fatores, sendo o principal sua solubilidade na água. A presença do oxigênio em equilíbrio em meio aquoso, que provém do ar atmosférico, tem a dissolução explicada pela seguinte equação da Lei de Henry, que leva em consideração a pressão atmosférica:  $KH = [O_2(aq.)]/pO_2$ . Onde KH para o O<sub>2</sub> a temperatura de 25 °C é de  $1,29 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$  e pO<sub>2</sub> é a pressão parcial do oxigênio atmosférico, a pressão atmosférica 1 atm. (ao nível do mar) levando-se em consideração que a presença do oxigênio no ar atmosférico é de cerca de 21%, estima-se a pressão parcial em 0,21 atm., assim a constante de equilíbrio de Henry será:  $[O_2] = KH pO_2 = 1,29 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1} \times 0,21 \text{ atm.} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ . Multiplicando-se o resultado por 32 (a massa molar do oxigênio é 16) tem-se 8,6 mg/L a temperatura de 25 °C ao nível do mar. Outro fator importante a ser considerado que afeta a solubilidade do oxigênio na água é a temperatura, a solubilidade do oxigênio diminui a medida em que a temperatura aumenta (BENEDITO FILHO; FIORUCCI; 2005).

A solubilidade do oxigênio na água pode ser demonstrada no gráfico da figura 2.

**Figura 2** - Solubilidade do oxigênio na água em diversas temperaturas a 1 atm



Fonte: Benedito Filho; Fiorucci (2005)

A poluição biológica das águas continentais, caracterizada pela grande proliferação de bactérias, é responsável por inúmeros problemas de saúde pública. O lançamento de esgoto sem tratamento, tanto doméstico quanto da indústria, pode aumentar a contaminação biológica, a fermentação desses resíduos leva a diminuição do oxigênio dissolvido na água. O consumo de oxigênio por parte das bactérias e microrganismo que fazem a degradação de resíduos

biológicos ocorre devido a respiração e a oxidação dos produtos degradados (MIRANDA, 1995).

A principal fonte atmosférica de oxigênio dissolvido e sua incorporação a água dependem do transporte vertical de oxigênio por turbulência causada pelos ventos e em rios de grande correnteza. Nas represas, em comportas de regulação de volume, existem casos de até 150% de saturação de oxigênio por fluxo turbulento (TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M., 2013).

### **3 Membrana celular**

Ao realizar diversas atividades, o ser humano acaba por provocar vibrações nas estruturas ou no meio ao qual ele está inserido. O CEB-209 (1991) estabelece modelos representativos de algumas as atividades humanas, as quais são consideradas como atividades padronizadas. Segundo RODRIGUES (1998), pode-se observar em partidas de futebol, realizadas nos estádios brasileiros, que os principais movimentos dos torcedores são pular aleatoriamente ou ordenadamente na direção vertical, bater palmas, levantar rapidamente ou de forma sincronizada. Assim, estas atividades, de acordo com o CEB-209 (1991), apresentam frequências naturais que variam de 0,6 Hz a 3,0 Hz.

As vibrações das estruturas podem gerar um desconforto no corpo humano ou até mesmo uma sensação de insegurança. A intensidade da percepção do homem às vibrações está intimamente ligada às amplitudes de deslocamentos, às velocidades e acelerações, à frequência de vibração, ao amortecimento da estrutura e à duração da exposição a tal vibração. Não há normas nacionais que definam os estados limites de utilização por vibrações excessivas, nem os níveis de percepção e desconforto humano. Na literatura em geral, existem diversos trabalhos e estudos que apresentam vários níveis de percepção e desconforto das pessoas perante as vibrações. Há, neste ramo, a ISO 2631: Guia para a Avaliação da Exposição Humana às Vibrações de Corpo Inteiro, cujo objetivo é fornecer um guia com os níveis aceitáveis de exposição humana à vibração de corpo inteiro, facilitando a avaliação e comparação de dados. Ela relaciona as frequências naturais de vibração com a aceleração da vibração e o tempo de exposição humana a tal vibração.

### **4 Ação do processo de oxidação do oxigênio na água**

O que acontece normalmente com microrganismos submetidos ao aumento do potencial de oxirredução é devido a produção dos radicais  $O_2^-$ ,  $OH^-$  e  $H_2O_2$ .

O radical superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) atua sobre as pontes de dissulfeto, importantes para formação de proteínas, afetando também aminoácidos presentes no DNA (LONG; WEI; XIAN, 2007).

O radical hidroxila (OH<sup>-</sup>) que causa lesões na membrana celular. E tem sua produção acelerada pela presença do radical superóxido). O peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) não é tão efetivo contra a maioria das bactérias (em baixas concentrações), mas existem algumas bactérias que não conseguem sintetizar a enzima catalase, responsável pela degradação do peróxido de hidrogênio, sua presença no citoplasma causa envenenamento (ABBAS; ASTER; KUMAR, 2013).

Estudos indicam que o processo de equilíbrio osmótico e produção do ATP estão relacionados com o potencial de oxirredução do meio líquido, ao redor da bactéria *Escherichia coli*. Alterações buscas na ordem de 100 mV interferem no processo de produção do ATP comprometendo sua sobrevivência e demais funções, principalmente funções relacionadas a permeabilidade da membrana celular (ALCARAZ et al., 1999).

## 5 Escoamento laminar e turbulento

O escoamento laminar ocorre quando as partículas de um fluido movem-se ao longo de uma trajetória bem definida em forma de lâminas ou camadas, caracterizado por baixas velocidades. No escoamento turbulento, as partículas de um fluido não se movem ao longo de uma trajetória de maneira bem definida descrevendo trajetórias irregulares onde existe a troca de quantidades entre diversas camadas e regiões da massa líquida (RODRIGUES, 2016).

O número de Reynolds é utilizado para determinar se o escoamento é turbulento, é um número adimensional e em física é um quociente entre forças de inércia e forças de viscosidade.

Segundo Rodrigues (2016), o número de Reynolds pode ser calculado pela seguinte equação:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

onde:

$\rho$  = a massa específica do fluido

$\mu$  = viscosidade dinâmica do fluido

$v$  = velocidade do escoamento

$D$  = diâmetro da tubulação

$Re < 2000$  = o escoamento é laminar

$Re > 2400$  = o escoamento é turbulento

## 6 Força de arrasto

A força de arrasto é um elemento que atua em sentido oposto ao movimento do objeto em relação ao fluido, essa força tende a diminuir a velocidade do objeto através do fluido (MC GINNIS, 2015).

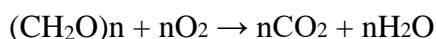
No caso de um objeto fixo, o fluido necessita de mais pressão para manter a velocidade, com isso o fluido ganha energia cinética desordenada (BERTULANI,1999).

O surgimento de um escoamento turbulento depende da velocidade do fluido, sua viscosidade, sua densidade, e o tamanho do obstáculo que ela encontra. E também pode ser calculado pelo número de Reynolds (BERTULANI,1999) onde:

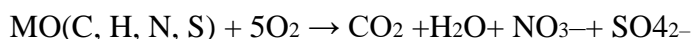
$$Re = \frac{(\text{a massa específica do fluido}) * (\text{área do objeto}) * (\text{velocidade do escoamento})}{(\text{viscosidade dinâmica do fluido})}$$

Em um ambiente natural aquático não poluído, o material mais habitualmente oxidado pelo oxigênio dissolvido na água é a matéria orgânica proveniente de plantas e animais mortos. Esse processo é chamado de degradação aeróbia, ocorre pela presença do oxigênio como agente redutor, em águas ricas em oxigênio (próximo ao ponto de saturação), mediado por microrganismos aeróbios. A reação química simplificada levando-se em conta que a matéria orgânica seja em sua totalidade carboidrato polimerizado, segundo (GUIMARÃES; NOUR, 2001) pode ser descrita como:

CH<sub>2</sub>O:



Em matéria orgânica (MO) mais complexa:



Na natureza o oxigênio gasto nesses processos é compensado pela fotossíntese das algas e plantas aquáticas ou pela aeração da água em cursos d'água e rios pouco profundos e de fluxo turbulento (BENEDITO FILHO; FIORUCCI, 2005).

## 6 Material e métodos

### 6.1 Material

Para montar o dispositivo ORP foram utilizados os seguintes materiais:

- Alfinetes de aço nº 30 - 800 unidades;
- Cano de PVC de 4 polegadas e 50 centímetros de comprimento - 1 unidade;
- Redução de cano PVC de 4 para 3 polegadas - 1 unidade;

- Cano em PVC flexível de 4 polegadas e 50 centímetros de comprimento - 1 unidade;
- Mangueira plástica transparente de 1/2 polegada de diâmetro e 70 centímetros de comprimento - 1 unidade;
- Mangueira plástica de 2 milímetros de diâmetro e 70 centímetros de comprimento - 1 unidade;
- Cotovelo plástico de 1/2 polegada de diâmetro - 1 unidade;
- Lacre plástico branco de 20 centímetros - 1 unidade;
- Lacre plástico branco de 40 centímetros - 6 unidades;
- Lacre plástico preto o de 20 centímetros - 2 unidades;
- Bomba submersa Litwin de 25 W e 1500 litros/hora - 1 unidade;
- Silicone Sil Trade Incolor tubo com 300g - 1 unidade;
- Placa de filtro biológico para aquários - 1 unidade;
- Linha de nylon 0,35 milímetros - 9 metros.

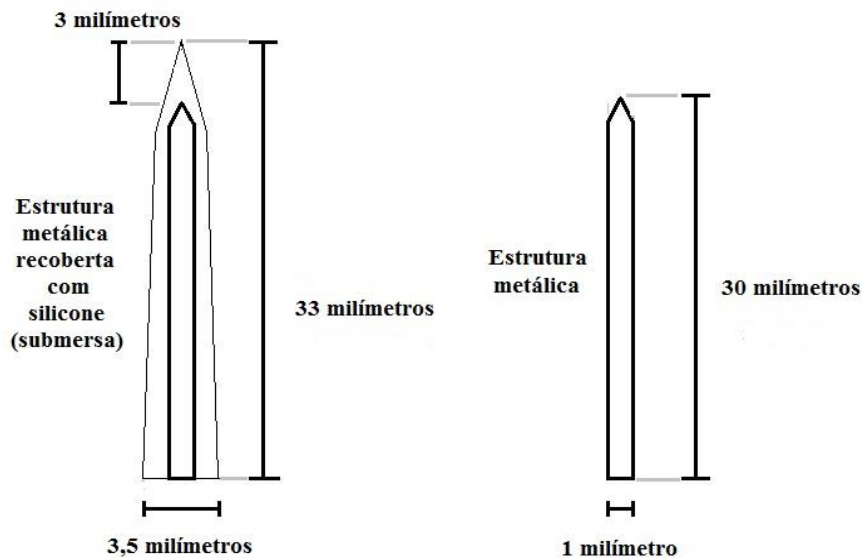
## 6.2 Métodos

O equipamento ORP foi de construção experimental composto por cerdas em um anel de PVC flexível e acessórios, descritos abaixo:

## 6.3 Montagem do equipamento

No funcionamento do equipamento em teste um dos elementos mais importantes são as cerdas (figuras 3 e 4).

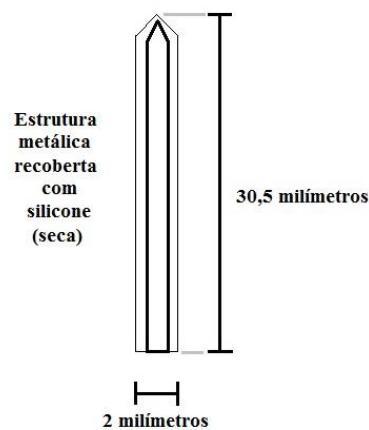
**Figura 3** - cerda submersa e estrutura metálica



Fonte: Henna (2016)

**Figura 4** - cerda seca

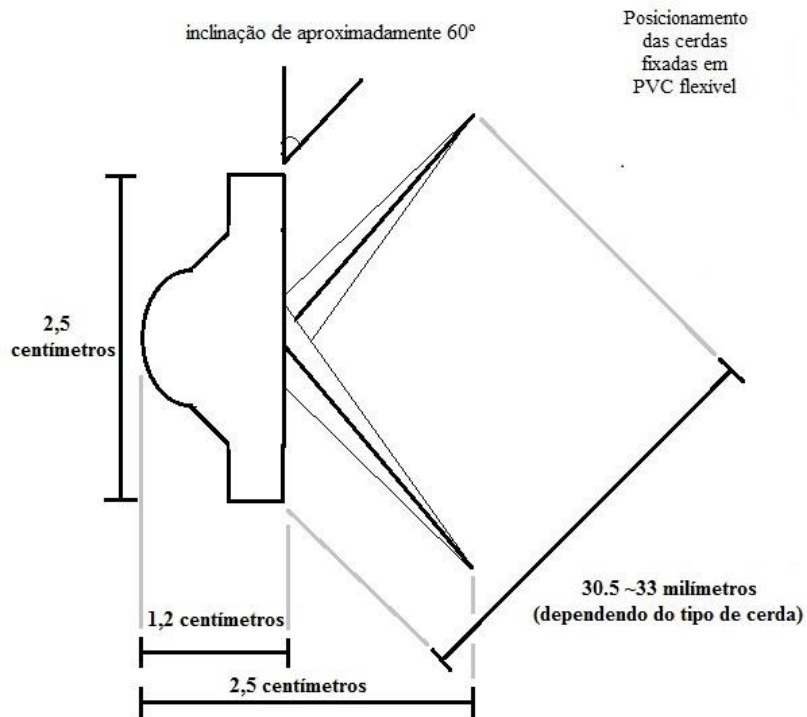




Fonte: Henna (2016)

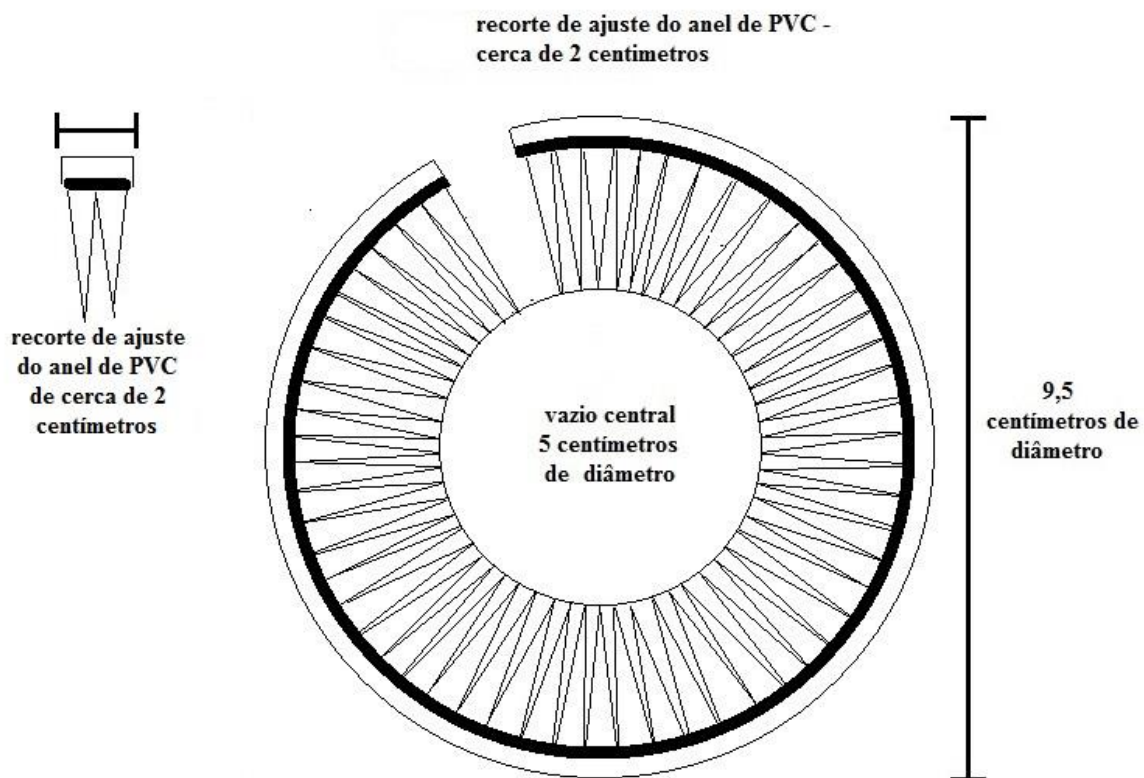
Elas foram fixadas a um anel de PVC flexível (coladas), antes de fixadas dentro da câmara de reação (figuras 5 e 6).

**Figura 5** - Corte transversal do anel de PVC com cerdas fixadas



Fonte: Henna (2016)

**Figura 6** - Posicionamento das cerdas montadas no anel de PVC



Fonte: Henna (2016)

Para a câmara de reação foi utilizado um tubo PVC de 10 centímetros de diâmetro (fig.7).

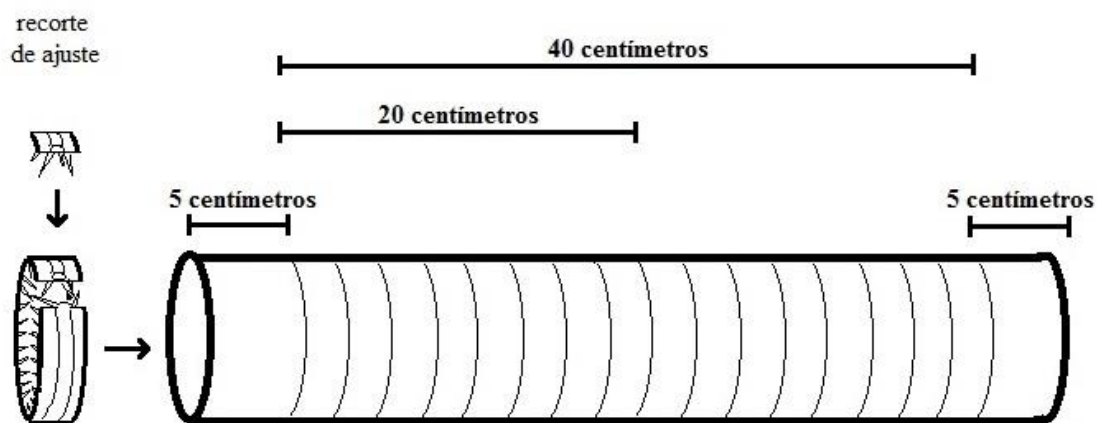
**Figura 7 -** Tubo PVC



Fonte: Henna (2016).

Os anéis em PVC flexível foram fixados no interior da câmara de reação deixando um espaço de 5 centímetros em cada extremidade. São 400 unidades de cerdas secas e 400 unidades de cerdas submersas distribuídas em 16 anéis (figura 8).

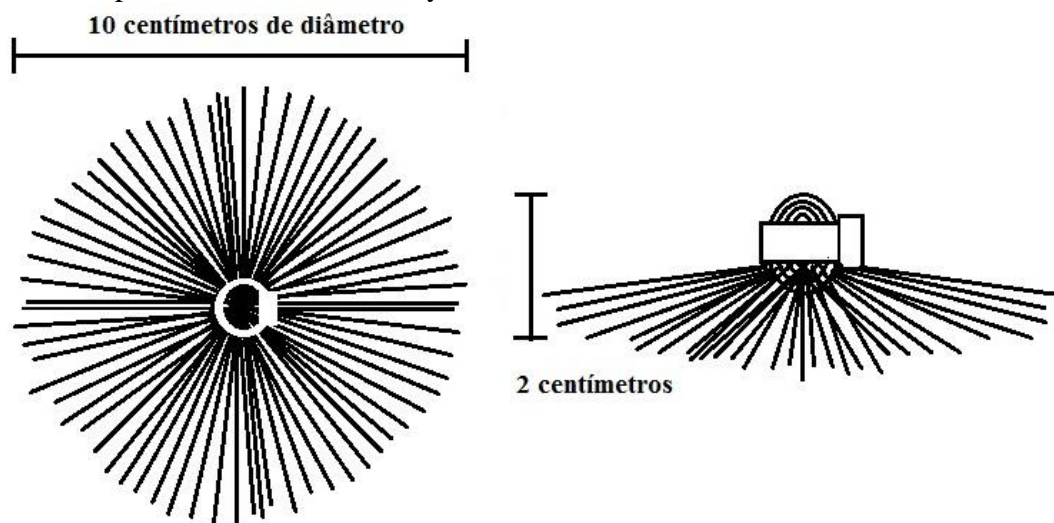
**Figura 8 -** Posicionamento dos anéis de PVC flexível dentro da câmara de reação



Fonte: Henna (2016)

Na parte superior da câmara de reação foi colocado um dispersor, que tem como finalidade dividir o fluxo de água que vem da bomba sem causar obstrução, ele foi confeccionado com fios de nylon de 0,35 milímetros, colado no centro com cola silicone e preso com um lacre plástico (figura 9).

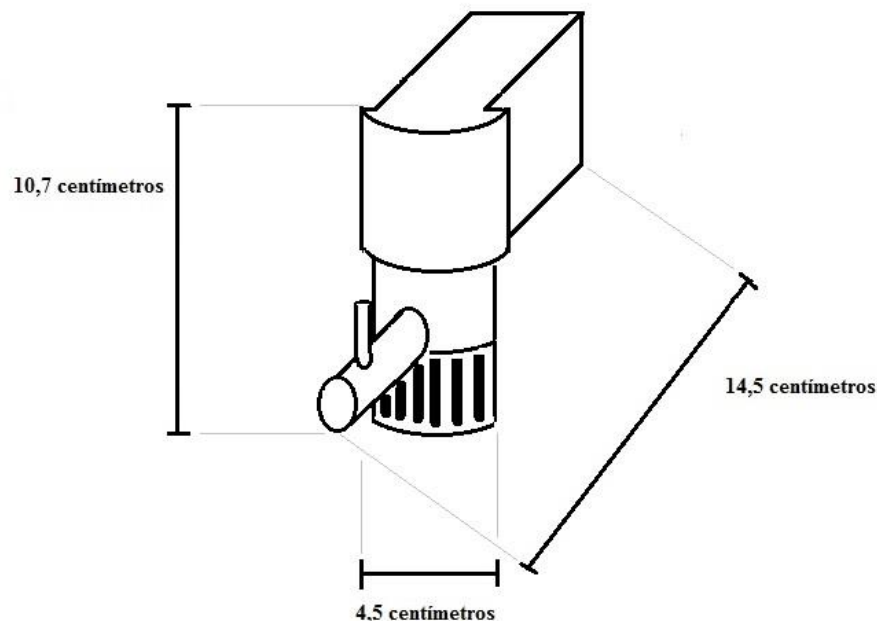
**Figura 9** - Dispersor, feito de fios de nylon 0,35 milímetros



Fonte: Henna (2016)

Para a circulação da água foi utilizada uma bomba submersa Litwin com capacidade de bombeamento de 1500 litros por hora, ela foi fixada a uma placa plástica de filtro biológico para aquários e está fixada a base da câmara de reação, abaixo das cerdas submersas (figura 10).

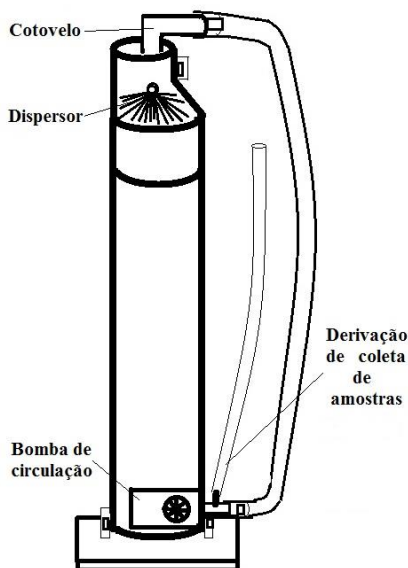
**Figura 10** - Bomba de circulação



Fonte: Henna (2016)

No alto da câmara de reação foi colocado uma redução em PVC de 4 polegadas para 3 polegadas, onde foi colocado um cotovelo plástico de 1/2 polegada, fixado com lacre plástico, alimentado com uma mangueira transparente (1/2 polegada) que foi fixada a saída da bomba e ao cotovelo com lacres de plásticos. Na saída originalmente utilizada para aeração foi adicionada uma mangueira plástica de 4 milímetros, esta passou a ser utilizada para coletar água do equipamento em funcionamento (figura 11).

**Figura 11** - Esboço do conjunto montado



Fonte: Henna (2016)

O conjunto todo trabalha dentro de uma caixa de vidro transparente de 4 milímetros de espessura, com comprimento e largura de 17 centímetros e altura de 50 centímetros. O equipamento funciona com cerca de 6 litros de água, mantendo uma coluna de 45 centímetros, o suficiente para encobrir as cerdas submersas. A seguir fotografias do equipamento (figura 12).

**Figura 12** - Fotografias do equipamento



Fonte: Henna (2016)

- 1) Cerdas posicionadas no interior da Câmara de Reação;
- 2) Câmara de Reação;
- 3) Dispensador;
- 4) Termômetro de mercúrio utilizado nos testes;
- 5) Cerda seca;
- 6) Cerda Submersa;
- 7) Parte superior do equipamento;
- 8) Cerdas fixadas no anel de PVC flexível;
- 9) Conjunto montado na caixa de vidro.

## 7 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do equipamento baseia-se na circulação da água por uma câmara de reação. Ao entrar na câmara (parte de cima do equipamento), o fluxo de água bombeado é dividido em pequenas quantidades (dispersor), a água desce escorrendo por entre as cerdas secas (parte aérea - primeiros 20 centímetros da câmara), fazendo com que a superfície de contato da água com o ar atmosférico aumente muito. Ao chegar na parte submersa da câmara de reação a água passa para um regime de escoamento turbulento, que ajuda na incorporação do oxigênio à água. Considerando apenas o deslocamento por um cano do diâmetro da câmara de reação (10 centímetros) o escoamento pode ser considerado turbulento levando-se em conta o número de Reynolds onde:

$$Re = \frac{\text{Massa esp. fluido} = 1000 * \text{veloc. escoamento} = 0,053\text{m/s} * \text{diâmetro da tubulação} = 0,10\text{m}}{\text{viscosidade dinâmica do fluido} = 0,001003}$$

Levando-se em conta o coeficiente de arrasto, o número de Reynolds para cada cerda submersa será:

$$\begin{aligned} Re &= (\text{massa esp. do fluido} = 1000) * (\text{velocidade de escoamento} = 0,053\text{m/s}) * \\ &(\text{diâmetro da cerda} = 0,0035\text{m}) * (\text{viscosidade dinâmica do fluido} = 0,001003) \\ Re &= 0,00019 \end{aligned}$$

## 8 Teste de potencial de oxirredução

Com o propósito de aferir os valores de oxirredução gerados pelo processo de funcionamento do equipamento foram realizadas medições utilizando um PHmêtro da marca Tecnopon, modelo M210, eletrodos Ag/AgCl e KCL 3 Mol como solução de enchimento do eletrodo. O PHmetro Tecnopon M210 realiza medições de pH em milivolts (mV), para utilização em medidas de potencial de oxirredução soma-se ao resultado um valor de compensação relacionado ao tipo de solução de enchimento do eletrodo, que no caso do KCL 3 Mol é 209 (JARDIM, 2014).

O teste realizado no laboratório de biologia do Departamento de Biologia da UNESP, campus de Bauru, contou com a colaboração da pesquisadora Maria Aparecida de Barros Agostinho, responsável pela calibração do PHmetro e que deu as orientações sobre o seu funcionamento.

Para os testes de medição foram utilizados: 6 litros de água deionizada, um copo de béquer de 150 ml, para coleta de amostras de água; aplicativo de celular para cronometrar o tempo e um suporte universal com garra de altura regulável, para posicionamento do eletrodo.

Foi coletada uma amostra de água da caixa de vidro antes de ligar o equipamento, colocada no béquer e em seguida o potencial de oxirredução foi medido. Procedeu-se assim durante todo o teste: com o equipamento ligado, com tempo determinado com aferição por cronometro. Foi retirada uma amostra pelo tubo de derivação da bomba de circulação e feita a medida com auxílio de um béquer. Em seguida a amostra era descartada, o tempo de teste foi de 65 minutos de funcionamento contínuo com os resultados estão expressos no gráfico da figura 12.

## **9 Testes microbiológicos**

Os testes de contaminação da água por microrganismos foram realizados no laboratório de Microbiologia da FATEC, Bauru.

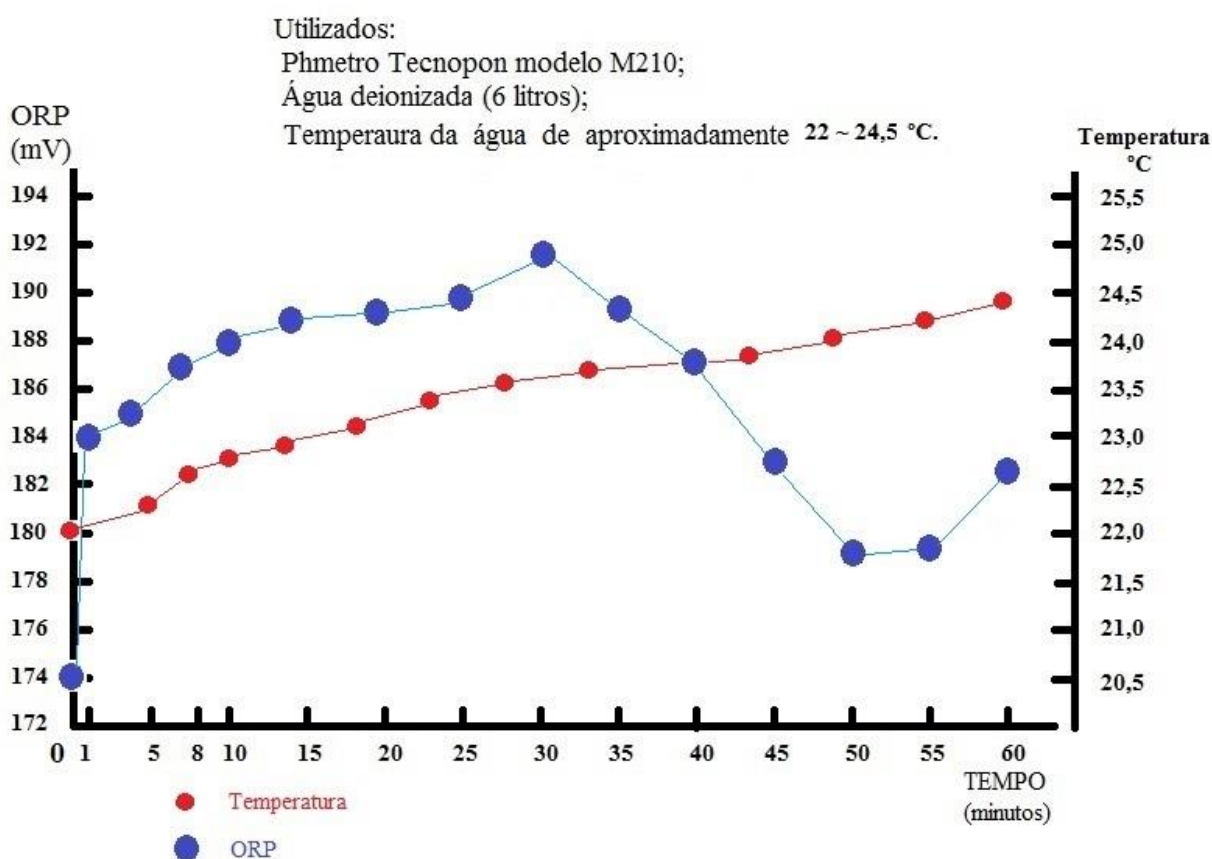
Em todos os testes foi utilizado o mesmo tipo de amostra de água contaminada que foi preparada com terra recolhida da sarjeta (uma colher de sobremesa), fezes de cachorro (mesma quantidade), tudo era misturado e molhado com água sem cloro e mantido em um saco plástico fechado por pelo menos 1 hora antes do teste. Ao chegar ao laboratório era adicionada a mistura 60 ml de água do vaso sanitário do banheiro masculino da FATEC, Bauru. Todos esses elementos permaneciam em repouso em um copo de béquer de 100 ml por um período de 10 a 20 minutos antes dos testes. Procedeu-se da seguinte maneira: para cada amostra foi utilizado um elenmeyer de capacidade não inferior a 100 ml, onde foi colocado, com a ajuda de uma pipeta graduada de vidro e pêra de borracha, 5 ml de água contaminada e em seguida adicionada 95 ml de água processada pelo equipamento. Depois de misturada no elenmeyer da amostra foi retirada outra pequena amostra de 0,5 ml, com o auxílio de uma pipeta automática, que foi semeada em uma placa de Petri contendo ágar Nutriente, a amostra foi espalhada sobre o ágar Nutriente utilizando-se alça descartável ou swab estéril. Cada placa semeada seguiu para a estufa e foi incubada a uma temperatura de 36 °C. por 24 horas. Para em seguida se proceder com a contagem de unidades formadoras de colônia (UFC/mL). Os testes foram realizados com o equipamento funcionando continuamente, com a ajuda de um cronômetro, as amostras de água eram retiradas (95 ml) da caixa de vidro do equipamento (pela mangueira de derivação da bomba) em tempos determinados e adicionadas sobre a amostra de água contaminada (5 ml). Foram realizados testes com a água em temperaturas diferentes, no início de cada teste foi retirada uma amostra com o equipamento desligado [amostra "0" (zero)]. Para monitoramento da temperatura foi utilizado um termômetro de mercúrio, a estabilidade da temperatura foi

mantida utilizando gel congelado, em sacos plásticos, mergulhados diretamente dentro da caixa de vidro do equipamento.

## 10 Resultados e discussão

Os resultados de avaliação do ORP e da contaminação por microrganismos estão expressos nas figuras 13 e 14:

**Figura 13** - Gráfico com valores de potencial de oxirredução e temperatura



Fonte: Henna (2016)

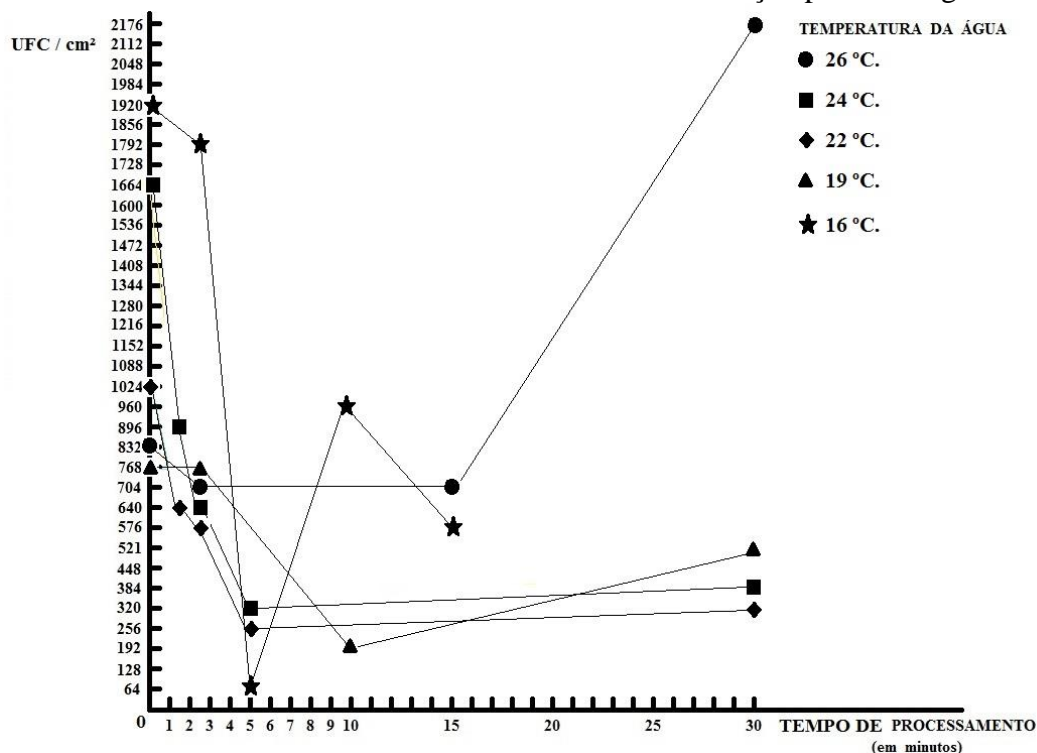
O PHmetro Tecnozon contava também com um sensor de temperatura, apesar da temperatura não ser determinante para medição de valores de pH em mV, foi utilizado para monitorar a temperatura da água durante o teste. O gráfico indica uma estabilidade no aumento dos valores do potencial de oxirredução nos primeiros 30 minutos de teste, deste momento em diante, os valores se tornaram instáveis. As hipóteses mais prováveis para o ocorrido é o aumento da temperatura no decorrer do teste, que influencia no equilíbrio da quantidade de oxigênio dissolvido na água e a quantidade total de água utilizada pelo equipamento (6 litros),



que em determinado momento atinge seu ponto de saturação, impedindo a incorporação de oxigênio do ar atmosférico. Isso prejudica também a reação de redução do oxigênio gerando a instabilidade nos valores positivos de oxirredução.

Os testes foram conduzidos procurando-se encontrar uma relação eficiente entre o tempo de funcionamento do equipamento e a temperatura da água, os resultados dos testes de contaminação podem ser comparados no gráfico da figura 14.

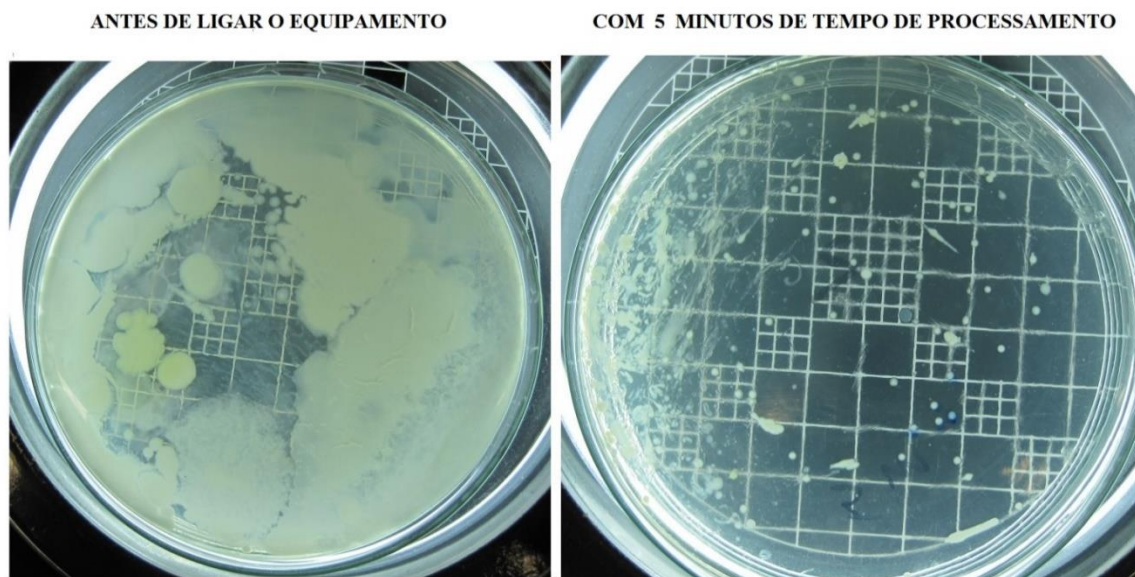
**Figura 14** - Gráfico com os resultados de controle de contaminação por microrganismos



Fonte: Henna (2016)

Os melhores resultados ocorreram em temperaturas abaixo de 25 °C., sendo o melhor resultado na temperatura de 16 °C., com o tempo de processamento de 5 minutos. Como demonstra as placas de Petri com as amostras de contaminação com a temperatura da água em 16 °C, antes do funcionamento do equipamento e com tempo de processamento de 5 minutos (figura 15).

**Figura 15** - Teste microbiológico com amostras do teste coletadas a temperatura da água em 16 °C.



Fonte: Henna (2016)

O oxigênio dissolvido na água em temperaturas inferiores a 25 °C é maior, faixa de temperatura que mostrou os melhores resultados, porém a saturação de oxigênio ocorre em um tempo mais curto, o que explica a instabilidade apresentada nas temperaturas de 19 °C., a partir de 10 minutos e em 16 °C., em tempo de processamento posteriores a 5 minutos.

O quadro da figura 16 traz alguns exemplos das principais alternativas de métodos de desinfecção de efluentes (OLIVEIRA, 2003), juntamente com resultados obtidos nos testes com o equipamento ORP. Ele apresenta alguns parâmetros vantajosos com relação as alternativas já existentes, a simplicidade e segurança no funcionamento, não ser tóxico para peixes (e outros organismos) e a contribuição para a quantidade de oxigênio dissolvido são pontos fortes.

**Figura 16** - Aplicabilidade das principais alternativas de métodos de desinfecção juntamente com os resultados dos testes do equipamento ORP.

Parâmetro	Cloração Com $Cl_2$	Cloração e Descloração	Dióxido de Cloro	Ozônio	Ultravioleta	Equip. ORP
Tamanho da estação	Todos os tamanhos	Todos os tamanhos	Todos os tamanhos	Pequeno a médio	Médio a grande	Todos os tamanhos
Nível de Tratamento	Todos os níveis	Todos os níveis	Secundário	Secundário	Secundário	Secundário
Confiabilidade dos	Boa	Razoável a boa	Razoável a boa	Razoável a boa	Razoável a boa	Em fase de testes

equipamentos						
Controle do Processo	Bem desenvolvido	Razoável a bem desenvolvido	Razoável a bem desenvolvido	Razoável a bem desenvolvido	Razoável a bem desenvolvido	Razoável
Complexidade relativa da tecnologia	Simple a moderada	Moderada	Moderada	Complexa	Simple a moderada	Simple
Preocupação com segurança	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baixa
Efeito bactericida	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Efeito virucida	Ruim	Ruim	Bom	Bom	Bom	Não testado
Toxicidade para os peixes	Tóxico	Não tóxico	Tóxico	Não esperada	Não tóxico	Não tóxico
Subprodutos prejudiciais	Sim	Sim	Sim	Não esperado	Não	Não
Persistência do residual	Longa	Não	Moderada	Não	Não	Não
Tempo de Contato	Longo	Longo	Moderado longo	Moderado	Curto	Curto
Contribui para oxigênio dissolvido	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
Reação com amônia	Sim	Sim	Não	Sim(com pH elevado)	Não	Não testado
Remoção de cor	Moderada	Moderada	Sim	Sim	Não	Não
Aumento de sólidos dissolvidos	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Dependência do pH	Sim	Sim	Não	Pequena (pH elevado)	Não	Sim(ácido e neutro)

Fonte: Oliveira (2003); Henna (2016) - modificado

Além de diminuir a contaminação por microrganismos o equipamento aumenta a quantidade de oxigênio dissolvido na água consumido pelos microrganismos responsáveis pela decomposição de matéria orgânica e outros compostos nocivos, garantindo um ambiente onde

peixes, plantas e outros organismos aquáticos possam sobreviver, e que também contribuem para os processos de degradação natural dos poluentes.

## 11 Conclusões

Testes iniciais mostram resultados promissores no controle de contaminações por microrganismos, o princípio de funcionamento do equipamento pode ser utilizado como processo auxiliar a métodos de desinfecção já existentes, como produtos desinfetantes, autoclaves, lâmpadas UV, termodesinfectoras e lavadoras ultrassônicas. Para o princípio de funcionamento deste equipamento, um sistema de alimentação contínua de água e com controle de temperatura poderia resolver os problemas de solubilidade e saturação do oxigênio tornando os valores de potencial de oxirredução mais eficientes e estáveis, o que garantiria um melhor desempenho.

O equipamento também pode ser utilizado no tratamento de esgoto doméstico e despoluição de rios, pois além de diminuição da contaminação por microrganismos também aumenta a quantidade de oxigênio dissolvido na água. O aumento de oxigênio dissolvido na água é essencial para manutenção de vida em meios aquáticos beneficiando processos biológicos capazes de degradar uma série de compostos responsáveis pela poluição de rios e lagos.

Baseado em raciocínio bem simples, os resultados observados com tempo de 5 minutos, levando-se em conta a circulação de água, correspondem a uma circulação de 20 vezes a quantidade total de água do equipamento. Ou seja, alguns dos resultados do teste de controle de contaminação poderiam ser alcançados com uma câmara de reação com 10 centímetros de diâmetro e de 8 metros de comprimento, por onde a água só precisaria passar uma única vez. Uma instalação com esse tamanho é difícil de se conceber em uma construção predial, mas é perfeitamente possível adaptá-la a uma pequena nascente que alimenta um braço poluído de rio por exemplo.

A construção do equipamento ORP resultou em resultados bastante expressivos e de importância na área médica e ambiental, e proporcionado aos futuros tecnólogos em sistemas biomédicos habilidades para no futuro atuarem na área de projetos de equipamentos.

## Referências

ABBAS A. K.; ASTER J. C.; KUMAR V. Inflamação e Reparo, Eventos Celulares: Recrutamento e Ativação dos Leucócitos. In: \_\_\_\_\_ **Robbins. Patologia Básica 9ª edição.** Rio de Janeiro, Elsevier Editora Ltda, 2013. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=\\_aUcAAAQBAJ&pg=PT120&dq=a%C3%A7%C3](https://books.google.com.br/books?id=_aUcAAAQBAJ&pg=PT120&dq=a%C3%A7%C3)

[%A3o+do+radical+super%C3%B3xido+em+bact%C3%A9rias&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwj73KG33Z7QAhXCIJAKHTVTAwYQ6AEIKDAC#v=onepage&q=a%C3%A7%C3%A3o%20do%20radical%20super%C3%B3xido%20em%20bact%C3%A9rias&f=false](#)>. Acesso em: 02 nov.2016.

ALCARAZ, G. et al. Changes in the proton-motive force in *Escherichia coli* in response to external oxido reduction potential. **The FEBS Journal**. Dijon, França, v. 262, jun. 1999, p. 595 - 599. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1432-1327.1999.00429.x/full>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

ANDRADE, J. B.; MARTINS, C. R. Química Atmosférica do Enxofre (IV): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental. **Nova Química**. São Paulo, v. 25, n. 2, mai. 2002. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422002000200015](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000200015)>. Acesso em: 02 nov. 2016.

BENETTI FILHO, E.; FIORUCCI, A. R. **A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos**, mai. 2005. Disponível em: <<http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc22/a02.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2016.

BERTULANI, C. **Viscosidade, Turbulência e Tensão Superficial**, ago. 1999. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/hidrodinamica/viscosidade.html>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social: **Modelagem de Desestatização do Setor de Saneamento Básico**. (trabalho realizado por um consórcio de empresas contratadas). Rio de Janeiro, Mimeo, 1998, IV volumes.

DEZOTTI, M. Processos e Técnicas para Controle Ambiental de Efluentes Líquidos. In: DEZOTTI, M. (Coord.). **Processos e Técnicas para Controle Ambiental de Efluentes Líquidos**. Rio de Janeiro, E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2008. p. 10-12.

GALAL-GORCHEV, Desinfección del agua potable y subproductos de inter'spara la salud. In: CRAUN, G. F.; CASTRO, R., (Ed.) **La calidad del agua potable en America Latina: Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riegos de los subproductos de la desinfección química**. Washigton, EUA, ILSI Press, 1996, p. 89-100.

GUIMARÃES, J. R.; NOUR, E. A. A. Tratando Nossos Esgotos: Processos que Imitam a Natureza. **Cadernos Temáticos de Nova Química na Escola**, mai. 2001, p. 19 - 30. Disponível em: <<http://qnesc.s bq.org.br/online/cadernos/01/esgotos.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

JARDIM, W. F. Medição e Interpretação de Valores do Potencial Redox (eh) em Matrizes Ambientais. **Nova Química**. São Paulo, v. 37, n. 7, jul. 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422014000700020](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422014000700020)>. Acesso em: 10 set. 2016.

LONG, B. L.; WEI, M. C.; XIAN, M. X. The generation and inactivation mechanism of oxidation–reduction potential of electrolyzed oxidizing water. **Journal of Food Engineering**. Guangzhou, China, v. 78, fev. 2007, p. 1326-1332. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406000495>>. Acesso em: 04 nov. 2016.

MC GINNIS, P. M. Cinética Angular. In: \_\_\_\_\_ **Biomecânica do Esporte e do Exercício 3ª edição**. Porto Alegre, Artmed, 2015, p. 118-221.

MIRANDA, E. E. Poluição das Águas. In: \_\_\_\_\_ **Ecologia**. São Paulo, Edições Loyola, 1995, p. 59-60.

PIMENTA, B. **Saneamento Ambiental. Qualidade de vida em populações rurais e áreas carentes**. 2010, 92 f. Monografia (requisito parcial para obtenção do grau de especialista em Gestão Ambiental) - Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de Efluentes Sanitários Tratados Através da Radiação Ultravioleta**. 2003, 110 f. Dissertação, (mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

OLIVEIRA, L. C. et al., Poluição Aquática. In: FRACETO, L. F.; MOSCHINO-CARLOS, V.; ROSA, A. H. (Org.). **Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Porto Alegre, Bookman, 2012, p. 17-18.

RODRIGUES, L. E. M. Escoamento Laminar e Turbulento. In: \_\_\_\_\_ **Mecânica dos Fluidos. Aula 1 Definição de Mecânica dos Fluidos, Sistema de Unidades**, out. 2016. Disponível em: <<http://fliphtml5.com/nncq/vhlt/basic/101-150>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

ROSSETTI, M. L. R., A. Célula e seus Constituintes Moleculares. In: FERREIRA, H. B.; PASSAGLIA, L. M. P.; ZAHA A. (Org.). **Biologia Molecular da Básica 5ª edição**. Porto Alegre, Artmed, 2014, p. 2-3.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo, Oficina dos Textos, 2013. Disponível em:

<<https://books.google.com.br/books?id=6LcWDAAAQBAJ&pg=PT246&dq=oxig%C3%AAnio+dissolvido+na+%C3%A1gua&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwj-o56AgqvQAhXCEpAKHVXwC7cQ6AEISzAE#v=onepage&q=oxig%C3%AAnio%20dissolvido%20na%20%C3%A1gua&f=false>>. Acesso em: 15 de nov. 2016.