

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
VINÍCIUS CÂNDIDO DE PAULA**

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO GERADOR DE OZÔNIO PELO
MÉTODO DESCARGA DE CORONA.**

**Varginha
2021**

VINÍCIUS CÂNDIDO DE PAULA

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO GERADOR DE OZÔNIO PELO
MÉTODO DESCARGA DE CORONA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha
2021**

VINÍCIUS CÂNDIDO DE PAULA

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO GERADOR DE OZÔNIO PELO
MÉTODO DESCARGA DE CORONA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Prof.

Prof.

OBS:

RESUMO

O atual trabalho descreve o desenvolvimento de um protótipo de gerador de ozônio pelo método descarga de corona, a fim de produzir o gás a partir do efeito corona constituído por geradores de alta tensão. O projeto realizado visou à utilização de conceitos de eletrônica e eletrotécnica, de modo que seja possível produzir o gás de ozônio para a realização de testes na aplicação do ozônio no tratamento das águas. Depois da construção do protótipo, se deu a constatação da produção do ozônio pelo teste realizado, em que o ar que saia do gerador foi diretamente colocado em uma solução de iodo solúvel/iodeto de potássio, a constatação se foi dada pela mudança de coloração da solução de incolor para azul escuro intenso. Pode-se observar que os objetivos do trabalho foram atingidos, a confirmação se deu após a realização do teste, onde se constatou que ocorreu a produção do ozônio através do método descarga de corona pelo protótipo construído e a sua eficácia no tratamento das águas, por meio das metodologias estudadas, onde através de vários trabalhos se comprovou a efetividade do ozônio em tratamento das águas.

Palavras chave: Protótipo gerador de ozônio, Descarga corona, Ozônio no tratamento das águas.

ABSTRACT

The current work describes the development of a prototype of an ozone generator by the corona discharge method, in order to produce the gas from the corona effect constituted by high voltage generators. The project carried out aimed to use electronic and electrotechnical concepts, so that it is possible to produce ozone gas for testing the application of ozone in water treatment. After the construction of the prototype, the ozone production was verified by the test carried out, in which the air leaving the generator was directly placed in a solution of soluble iodine/potassium iodide, the finding was given by the change in color of the solution from colorless to deep dark blue. It can be observed that the objectives of the work were achieved, the confirmation took place after the test, where it was found that the production of ozone occurred through the corona discharge method by the built prototype and its effectiveness in the treatment of water, by through the methodologies studied, where, through several studies, the effectiveness of ozone in water treatment was proven.

Keywords: Ozone generator prototype, Corona discharge, Ozone in water treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01. Máquina geradora de ozônio de Siemens.....	18
Figura 02. Geração de ozônio por descarga corona.....	23
Figura 03. Campo elétrico em cilindros coaxiais.....	24
Figura 04. Modelo interno do protótipo	26
Figura 05. Kit célula para gerador de ozônio.....	27
Figura 06. Cabo de força.....	27
Figura 07. Temporizador cíclico.....	28
Figura 08. Conector Wago	29
Figura 09. Chapa de aço.....	29
Figura 10. Micro ventilador.....	30
Figura 11. Parafuso.....	30
Figura 12. Tomada chave on/off com fusível.....	31
Figura 13. Compressor de ar.....	31
Figura 14. Parte interna compressor de ar.....	31
Figura 15. Protótipo final.....	33
Figura 16. Protótipo final, parte interna.....	33
Figura 17. Solução não oxidada e solução oxidada.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Comparação de agentes oxidantes.....	11
---	----

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

A: Ampere;

AWG: significa American Wire Gauge podendo ser traduzida como escala americana normatizada;

CNT EN: Indica entrada do modo de programação;

E(x): Intensidade de campo elétrico em função da distância do centro dos cilindros (N.C-1);

g/h: gramas por hora;

mg/L: Miligramas por litro;

Hz: Unidade de medida de frequência;

L/min: litros por minuto;

N: Na₂S₂O₃ normalidade do tiosulfato de sódio;

RESET: Redefinição da programação;

RPM: Rotação por minuto;

t: Tempo de aplicação do ozônio (min);

UL: Máxima tensão;

V: Na₂S₂O₃ volume de tiosulfato consumido na titulação da amostra volume de tiosulfato consumido na titulação do branco;

v: Volt;

VA: Volt-ampere;

Vam: Volume de amostra de iodeto de potássio titulada (mL);

Vca: Tensão de corrente alternada;

Vdc: Tensão corrente contínua;

VKI: Volume de iodeto de potássio ozonizado;

W: Volt;

Wp: Watt-pico.

LISTA DE SÍMBOLOS

- P: densidade de cargas (C.m-1);
 ϵ : constante de permissividade (C2. N-1 .m-2)
 x : distância do centro dos cilindros (m);
 r_2 : Raio do cilindro externo (m)
 r_1 : Raio do cilindro interno (m)
V: Módulo da diferença de potencial (V)
 x : Distância do centro dos cilindros (m)
I3: Triodeto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Ozônio	12
1.2 Utilização do ozônio no tratamento das águas	13
1.3 Produção de ozônio pelo método descarga de corona	14
2. JUSTIFICATIVA	15
3. PROBLEMA DE PESQUISA	16
4. OBJETIVOS	16
5. METODOLOGIA.....	16
6. PRÉVIA DOS CAPÍTULOS	17
7. REFERENCIAL TEÓRICO	17
7.1 Histórico da ação do ozônio	17
7.2 Definição do ozônio.....	19
7.3 Produção do ozônio.....	20
7.3.1 Produção de ozônio por eletrólise	20
7.3.2 Produção de ozônio pelo método radiação ultravioleta	21
7.4 Descarga de corona	22
7.4.1 Produção de ozônio pelo método de descarga de corona.....	22
7.4.2 Cálculos para a produção de ozônio pelo método descarga de corona.	24
8. AÇÃO DO OZÔNIO NA DESINFECÇÃO	25
8.1 Utilização do ozônio para desinfecção das águas.....	25
9. MATERIAIS E MÉTODOS	26
9.1 Modelo de um protótipo de baixo custo para a produção de ozônio pelo método corona.....	26
10. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
11. CONCLUSÃO.....	35

REFERÊNCIAS	36
--------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

1.1 Ozônio

Atualmente o ozônio tem sido muito estudado para diversas aplicações em tratamento de água, efluentes domésticos e industriais, na medicina, entre outros. A utilização do ozônio tem sido um campo muito crescente, sendo fundamental a melhoria na geração em sistemas geradores de ozônio (SCHIAVON,2014).

O ozônio (O₃) vem sendo estudado há vários anos e testado com as mais diversas finalidades, principalmente como agente esterilizante, é composto por 3 átomos de oxigênio, em sua forma gasosa é incolor, na forma líquida é azul escuro. O seu ponto de fusão é 80 K e de ebulição é de 161 K apresenta odor característico percebido em concentrações tão baixas quanto 0,015 ppm é altamente instável em qualquer forma (RICE et al,1986).

De acordo com De Renzo (1981) diz que o ozônio é produzido por meio de uma ruptura na molécula de oxigênio, podendo se combinar a outras moléculas também de oxigênio. O ozônio possui um poder oxidativo, quando aplicado em poluentes orgânicos e inorgânicos. Apresenta média solubilidade e toxicidade em água dependendo de sua bioassimilação e ainda de sua solubilização, devido ao seu alto poder oxidante, a solução contendo ozônio deve ter aplicação imediata (TORRES, 1996).

Atualmente o ozônio é conhecido como o segundo mais poderoso agente oxidante que pode ser utilizado em escala para aplicações em tratamento de água e vem sendo adotado por diversos países e em milhares de sistemas de tratamento, como demonstrado na Tabela 01 (SCHIAVON,2014).

Tabela 01: Comparação de agentes oxidantes

Agente Oxidante	Potencial de Oxidação	Poder relativo de Oxidação
Flúor	3,06	2,25
Ozônio	2,07	1,52
Peróxido de H	1,77	1,30
Ácido Hipocloroso	1,49	1,10
Cloro	1,36	1,00

Fonte: Próprio autor, 2021.

A produção de ozônio pode ser realizada de três formas principais: por eletrólise, ultravioleta e o efeito corona. Para o processo de produção via efeito corona, o ozônio é gerado

por uma descarga elétrica em um tubo de inox chamado de reator de ozônio, neste tubo aplica-se uma descarga elétrica de alta tensão, juntamente com um fluxo de ar gera o gás ozônio, gerando um gás com alto poder oxidante, e quando gerado por oxigênio puro, sua eficiência de produção é aumentada.

1.2 Utilização do ozônio no tratamento das águas

A água é um bem primordial para o desenvolvimento de todos os seres vivos. No entanto, sua qualidade pode ser um fator limitante para determinados usos como higienização, dessedentação animal e, principalmente, consumo humano (ARENAS, 2014).

O início do processo de sanitização por ozônio se deu na França, em 1906, em Nice, realizou o processo do primeiro tratamento de vegetais com água ozonizada de forma industrial, desde então, o ozônio também vem sendo utilizado na desinfecção de água potável na Europa. Foi verificado que esse método de tratamento não alterava as características organolépticas da água e sua ação sobre os microrganismos era tão eficaz quanto ao cloro (CHANG; SHELDON, 1989).

Equiparando ainda a vantagem da utilização do ozônio ao invés do cloro, segundo Korol (1995), diz que ambos são agentes desinfetantes que destroem, neutralizam e inibem a maioria dos microrganismos patogênicos. Com 0,50 mg/mL de cloro, a redução foi menor para os organismos, onde se fez necessário 2 mg/mL de ozônio para um efeito similar.

Contudo o aumento crescente da preocupação com o meio ambiente, e principalmente sobre os subprodutos gerados das reações do cloro com a matéria orgânica, a formação desses subprodutos são prejudiciais a todo um sistema como os seres humanos, os organismos aquáticos e além do fato com a crescente preocupação com a presença de moléculas resistentes ao tratamento biológico convencional, tornando assim as tecnologias alternativas de tratamento de água e esgoto mais atraentes. Em estações de tratamento de água que utilizam exclusivamente o processo de cloração, ocorre a formação de organoclorados (Trihalometanos), que são os subprodutos não desejáveis por serem cancerígenos, podendo ocorrer na fase de pré-tratamento (ARMAROLI, 2007).

Assim, o ozônio reaparece como uma forte alternativa de tratamento, o processo de ozonização, tem baixa ação residual é também atua como a gente na remoção de cor e turbidez da água. Promovendo assim a retomada de pesquisas de tecnologia em geração e a consequente operação econômica. (GOGATE e PANDIT, 2003).

1.3 Produção de ozônio pelo método descarga de corona

Um dos mais comuns fenômenos vistos na engenharia elétrica de potência é o efeito corona, sendo um mecanismo de descarga eletrostática devido à ionização de um material isolante, visto em gases submetidos a um campo elétrico com intensidade suficiente para romper a sua rigidez dielétrica (LOPES, 2016).

O gás ozônio pode ser produzido de três formas principais: por eletrólise, ultravioleta e descarga corona, sendo a descarga corona o método mais utilizado para se obter ozônio em quantidades significativas.

Entre os métodos mais utilizados para produção do gás, se destaca a obtenção por eletrólise, devido ao fato da dificuldade de manipulação do ozônio este método não é muito viável, a radiação ultravioleta tem alto custo e baixo rendimento, sendo assim não atende as necessidades da indústria e pôr fim a produção por descarga corona, que produz quantidades significativas para o uso industrial, sendo assim o método mais utilizado para a obtenção do produto (MAIDANA et al.,2015).

A produção de ozônio pelo efeito corona, e realizada através de uma alta tensão que produza um campo elétrico forte o bastante para romper a rigidez dielétrica do ar presente entre os eletrodos, os elétrons livres atingem altas velocidades, quebrando as moléculas de oxigênio que ao reagruparem-se formam ozônio, composto com alto poder oxidante (LOPES, 2016).

A aplicação de descargas elétricas corona, em sistemas industriais e em especial em geradores de ozônio (ozonizadores) dedicados ao tratamento de água e esgotos domésticos, objeto de pesquisa desse trabalho, foram iniciados a partir do final do século XIX. O seu início se deu na Europa, é o seu uso foi muito difundido, porém o seu alto custo de instalação e operação e a baixa eficiência de produção foram fatores limitantes para sua expansão (ARMAROLI, 2007).

Este trabalho possuiu como tema o gerador de ozônio a construção de um protótipo e como pode ser utilizado nas águas. O gerador de ozônio é um aparelho eletroeletrônico que produz o gás ozônio, também conhecido como tri-oxigênio, que tem ação conhecida como o segundo mais poderoso agente oxidante contra germes, vírus e microrganismos, no tratamento das águas pode ser utilizado em larga escala, sem produção de resíduos.

Neste contexto, o tema aqui tratado surgiu como instrumento de análise para verificar a eficiência do método descarga corona, para realizar a ação de desinfecção no tratamento da água.

2. JUSTIFICATIVA

A água cobre aproximadamente 70% da superfície do planeta, desta porcentagem, apenas 0,5% representam água doce explorável. Retirando o percentual de água doce explorável, que se encontra em locais de difícil acesso ou muito poluídas, fica apenas para consumo direto, apenas 0,003% do volume total de água do planeta (BRAGA et al., 2002).

No Brasil, em torno de 60% das internações hospitalares estejam ligadas diretamente com a precariedade dos sistemas de saneamento básico e 90% dessas doenças é resultado do abastecimento de água de má qualidade, pode veicular doenças como a febre tifoide, cólera, disenteria bacilar e a hepatite infecciosa, entre outros (DI BERNARDO et al., 2002).

Dos processos utilizados no tratamento de águas, o mais utilizado é a adição de cloro. Tendo como vantagem o seu poder germicida, e a sua formação de residual ativo, o que possibilita maior segurança em termos de ação sobre contaminações, sendo visível em etapas posteriores e a aplicação tecnologia de baixos custos e o seu grande domínio na área (AGUIAR et al., 2002). Contudo, estudos recentes mostram alguns pontos que devem tomar certa atenção, como a identificação de microrganismos patogênicos resistentes ao cloro, destacando-se algumas bactérias como a *Pseudomonas aeruginosa*, além de cistos e oocistos, protozoários; formação de subprodutos da desinfecção como *trihalometanos* que surgem após o cloro reagir com as substâncias orgânicas encontradas na água, que podem ser cancerígenas (AGUIAR et al., 2002).

Deste modo, as buscas e o emprego de outras tecnologias para desinfecção da água têm sido intensificados, dentre elas destaca-se o uso do ozônio, produzida pelo método descarga de corona.

A desinfecção realizada corretamente através de um gerador de ozônio como uma técnica complementar seria uma grande aliada para a manutenção e redução dessas contaminações e infecções, e também devido ao fato do ozônio ser conhecido como o segundo mais poderoso agente oxidante, superado em seu potencial apenas pelo flúor.

Assim reduzindo gastos públicos e melhorando a qualidade do atendimento, conseqüentemente melhorando a qualidade de vida da população.

3. PROBLEMA DE PESQUISA

O presente trabalho busca demonstrar a importância do gás de ozônio obtido através da descarga de corona, utilizado para a desinfecção no tratamento da água, e se ele é realmente eficiente para realizar essa ação. Explicar como pode ser construído um gerador de ozônio de forma acessível produção do gás de ozônio pelo método descarga de corona e a sua aplicação no tratamento das águas.

4. OBJETIVOS

Este trabalho busca criar elementos para a produção e desenvolvimento de ozonizadores, com finalidade de utilizar em sistemas de tratamento de águas com as seguintes características:

- Ter baixo custos de fabricação, implantação e tecnologia acessível;
- De fácil possibilidade de execução;
- Possuir fácil manutenção;
- Apresentar alta produtividade na produção do gás;
- Demonstrar a construção de um protótipo;
- Permitir ampliação do sistema.

5. METODOLOGIA

O presente trabalho busca avaliar a eficiência de um protótipo gerador de ozônio de baixo custo, usando o seu princípio de funcionamento baseado na produção por efeito corona. Tal sistema pretende viabilizar o processo de ozonização para sua utilização em estudos e em tratamento das águas. O trabalho utiliza uma abordagem bibliográfica baseada em vários estudos de temas análogos.

Para abordar sobre este tema, a pesquisa foi realizada de caráter multidisciplinar, a pesquisa bibliográfica buscou dar uma visão circundante sobre a maioria dos fenômenos e métodos relacionados diretamente, abordando tanto na área de descargas elétricas como dos principais agentes físico-químicos utilizados em sistemas de tratamento de águas e a parte prática, onde ocorreu a construção de um protótipo.

6. PRÉVIA DOS CAPÍTULOS

O trabalho foi dividido em 5 capítulos, sendo eles:

Capítulo 1 – Introdução

No qual se apresenta uma introdução em correspondência ao tema e do trabalho, a explicação sobre o ozônio, o método para a produção e a importância da sua utilização do tratamento das águas, justificativa, problema da pesquisa, objetivos, definição da metodologia e a prévia dos capítulos (tópico atual).

Capítulo 2 – Desenvolvimento

Onde é realizada toda a revisão bibliográfica a respeito de manutenção, proporcionando um embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho.

Capítulo 3 – Metodologia proposta

Contido pelo desenvolvimento da metodologia apresentada no capítulo anterior e após as análises, expondo o método escolhido como mais adequado para o desenvolvimento da proposta.

Capítulo 4 – Resultados e discussão

Discute a respeito da aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior, detalhando cada etapa aplicada.

Capítulo 5 – Conclusões

São exibidas as conclusões obtidas com a pesquisa realizada para o trabalho, através das análises dos resultados e discussão.

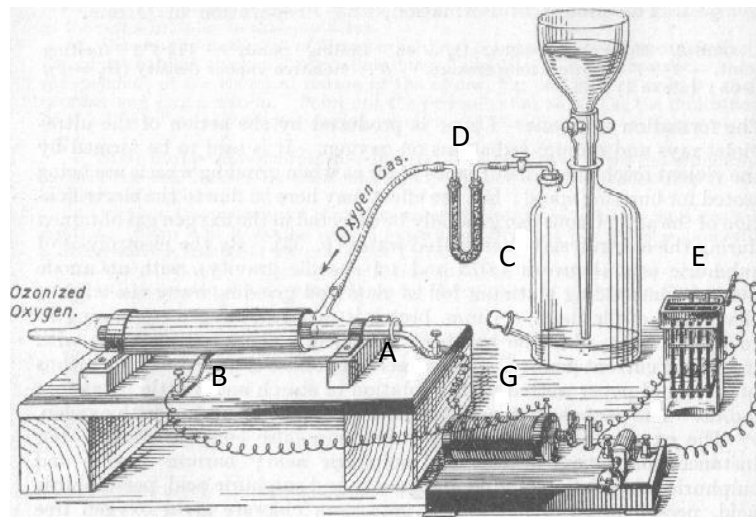
7. REFERENCIAL TEÓRICO

7.1 Histórico da ação do ozônio

A ação germicida do ozônio foi evidenciada na França, no final do século XIX, quando este gás começou a ser utilizado como desinfetante no tratamento de água (LAPOLLI et al., 2003; Rice et al., 1981). Desde aquele momento, tem sido estudado e aplicado na purificação e desinfecção de água (RICCE et al., 1981), as técnicas de ozonização foram ampliadas mais significativamente nos últimos 40 anos, principalmente em países da Europa como a França, na Alemanha Ocidental e na Suíça (LAPOLLI et al., 2003). No Brasil passou a ser utilizada como alternativa aos métodos convencionais de tratamento de águas superficiais a partir de 1983 (LAPOLLI et al., 2003).

Em 1857, o engenheiro químico alemão Ernst Werner von Siemens, construiu a primeira máquina geradora de ozônio como mostra na Figura 01. A máquina consistia em dois tubos de vidro concêntricos, um tubo interno que continha uma folha de alumínio fina cobrindo sua superfície interna e o tubo externo coberto da mesma forma.

Figura 01. Máquina geradora de ozônio de Siemens



Fonte: (Armaroli, 2007)

Abaixo se encontram os nomes das partes letradas acima:

- A - Terminal conectado à superfície interna;
- B - Terminal conectado à superfície externa;
- C – Armazenamento de gás contendo oxigênio;
- D - Tubo secante com cloreto de cálcio;
- E – Bateria;
- G - Bobina de indução.

Aplica-se uma tensão elevada entre os terminais A-B, esta tensão fornecida pelo circuito da fonte E-G, e a área entre os dois tubos de vidro tornava-se ionizada. Ao mesmo tempo, um gás contendo oxigênio e mantido no recipiente C injetado no secador D até atingir o espaço intereletrodo, o ar ionizado neste local acarreta a quebra das moléculas de oxigênio resultando na sua ruptura deste modo, alguns átomos de oxigênio recombinavam e transformavam-se em ozônio.

O ozônio foi confirmado como um potente desinfetante de água em 1866, por Meritens (LAPOLLI et al., 2003). O ozônio teve a primeira aplicação em escala no tratamento de água

em 1893 em Oudshoorn, na Holanda (LAPOLLI et al., 2003). Em 1982, o ozônio foi considerado como um produto seguro (“General Recognized As Safe” - GRAS), sendo utilizado por uma grande gama de aplicações comerciais, incluindo a desinfecção de água de piscina e o tratamento de águas (GUZEL e GREENE, 2004).

A ozonização passou a ser utilizada no Brasil como alternativa aos métodos convencionais de pré-cloração e pré-aeração no tratamento de águas superficiais a partir de 1983 (LAPOLLI et al., 2003).

A partir desta data até o presente momento, já são mais de 1000 estações instaladas em todo o mundo.

7.2 Definição do ozônio

A palavra ozônio vem do grego Ozein que quer dizer mau cheiro, o significado do nome reflete o nome da sua principal característica, o odor forte exala quando está em alta concentração, característica observada pela primeira vez em 1785, por Van Marums, quando este está próximo a uma descarga elétrica produzida por sua máquina eletrostática. O odor característico foi inicialmente identificado pelo cientista alemão Christian Friedrich Schoenbein, como sendo de um composto indeterminado em 1840 enquanto estudava a decomposição eletrolítica da água (SCHIAVON, 2012). Em 1848, Hunt concluiu que o ozônio era a forma alotrópica do oxigênio (VIDAL, 2003), sendo que uma década após ficou claramente identificada sua composição tri atômica.

Em temperatura ambiente e baixas concentrações, apresenta-se como um gás incolor, quando encontrado em altas concentrações assume uma coloração azulada, com o aumento da temperatura, o ozônio tem sua solubilidade em água reduzida, tornando-se menos estável. Com o aumento na temperatura não altera significativamente a taxa de desinfecção do ozônio, com isso percebe-se que a desinfecção é relativamente independente da temperatura (SILVEIRA, 2004).

O ozônio é conhecido como o segundo mais poderoso agente oxidante, precedido em seu potencial apenas pelo flúor, possui poderosa ação contra microrganismos, germes e vírus, quando comparado ao cloro, é cerca de 10 vezes mais desinfetante e 3.000 vezes mais rápido na inativação de bactérias.

Uma característica que também marcante no ozônio é ser um gás altamente instável, é muito reativo com outras substâncias. Podem ser considerados assim como uma "substância química limpa", pelo fato de se deteriorar sem deixar resíduos danosos ao meio ambiente. Além

do fato de seu uso não implicar em nenhum transporte ou armazenamento perigoso, devido ao fato do ozônio ser produzido no local e uso é feito conforme o necessário (ELIASSON; KOGELSCHATZ, 1991).

Pode ser utilizado em larga escala para realizar a oxi-sanitização de ambientes e tratamento das águas, (SCHIAVON G. J, et.al .2014). É um composto formado quimicamente, que consiste em três átomos de oxigênio (O_3 - oxigênio triatômico - 2 moléculas + 1 átomo de O_2 ou 1 molécula + 2 átomos de O_2) (MARTINS, et al., 2012).

7.3 Produção do ozônio

O gás ozônio pode ser produzido de três formas principais: por eletrólise, ultravioleta e descarga corona. Entre os métodos utilizados para produção do gás, o que mais se destaca e a obtenção por eletrólise, mas é caracterizada pela dificuldade da manipulação do ozônio, o método da radiação ultravioleta, tem alto custo e baixo rendimento não atendendo as necessidades da indústria e a produção por descarga corona, produz quantidades significativas a preços acessíveis sendo o método mais utilizado para a obtenção do produto (MAIDANA et al.,2015).

7.3.1 Produção de ozônio por eletrólise

Segundo Da Silva (2003) a produção eletroquímica de ozônio é vantajosa em relação ao processo corona convencional, nos casos em que a demanda de concentração requerida de ozônio na fase gasosa é elevada, ou em casos em que a sua aplicação na degradação de compostos orgânicos recalcitrantes e de interesse ambiental. Mas quando a produção de ozônio não permite a obtenção em concentrações elevadas na fase gasosa, limita-se assim a aplicação do ozônio em diversos processos oxidativos que possuem um processo lento, como no caso da decomposição de certos pesticidas e corantes presentes em efluentes urbanos e industriais

Porém a baixa eficiência deste método se deve ao fato das fontes de energia empregadas para promover a dissociação da molécula de oxigênio (radiação UV e arco elétrico) também causam a degradação da molécula de O_3 , já que a reação ocorre em fase homogênea, ou seja, tanto os reagentes quanto os produtos estão expostos a mesma fonte de energia que promove a reação na fase gasosa. Tal consideração se deve ao fato de que uma vez formada as moléculas de O_3 na interface, estas podem a princípio se deslocarem para o seio da fase líquida evitando

assim que a fonte de energia responsável pela sua formação propicie a sua decomposição em moléculas de O₂ (SILVA, 2004).

É um processo que exija uma grande demanda de energia e tecnologia para a geração de ozônio, sendo encontrada apenas em pequena escala laboratoriais com o propósito de eliminar odores e efetuar assepsia. (RICE; NETZER, 1982).

7.3.2 Produção de ozônio pelo método radiação ultravioleta

Quando utilizado a radiação UV na desinfecção de águas, aparece como método alternativo ao cloro, pelo fato de possuir de não manter residual desinfetante e diminuir a potencialidade da geração de subprodutos prejudiciais à saúde, diminuindo a introdução de produtos danosos ao corpo receptor. Quando aplicado a radiação UV como tratamento para a desinfecção a mínima produção de subprodutos (WATER, 2007).

Segundo Aguiar et al. (2002), esse processo gera baixa quantidade de subprodutos, quando comparado ao cloro, reduzindo o risco de causar problemas à saúde (WRIGHT; CAIRNS, 1998). Barbosa (2016) destaca que a radiação UV-C não altera o pH e as características físico-químicas da água, diferente dos demais agentes químicos empregados na desinfecção da água.

Mas sua eficiência depende do tipo e da quantidade de água a ser tratada, juntamente com a intensidade da radiação UV, isto significa que a força da luz emitida pela lâmpada que entrará em contato com a água e o tempo em contato da radiação com os microrganismos se não for o suficiente, poderá não eliminar os microrganismos (AQUA AMBIENTE, 2004).

As pesquisas realizadas com desinfecção e fotólise pela radiação UV tem aumentado com o passar dos anos, indicando um grande potencial de aplicação desse sistema nas áreas do tratamento das águas, no entanto, o seu custo ainda é elevado em comparação com outros métodos de desinfecção, como o cloro. (ALHARBI et al., 2017).

Nos geradores comerciais, o ozônio é produzido principalmente por descarga corona e radiação ultravioleta. A radiação ultravioleta, entretanto, não atende as necessidades de produção requeridas pela indústria, sendo assim a descarga elétrica do tipo corona é o método mais utilizado para se obter ozônio em quantidades significativas, sendo este o objeto de estudo deste trabalho (ALMEIDA et al, 2004).

7.4 Descarga de corona

O termo oficial para Corona é um “eflúvio que se manifesta em um campo elétrico não uniforme e de intensidade muito elevada, tendo uma parte visível perto do condutor, intitulado como uma descarga parcial entre elétrodos tipo ponta-placa que ocorre nos casos onde dielétricos sólidos estão ausentes ou estão muito afastados da zona de ionização ou de descarga. (VAN BRUNT, 1994).

O método de geração de ozônio por descarga corona é o mais utilizado para aplicações onde o oxigênio ou o ar passa entre dois eletrodos separados por um meio de inox dielétrico (WICKRANAYABE, 1991). O efeito corona sucede quando se tem um campo elétrico intenso que acelera os elétrons existentes em torno de um condutor, fazendo-os adquirir energia suficiente para se chocar-se com outros átomos e assim liberar mais elétrons. Quando a colisão acontece com força suficiente, o átomo atingido passa a ter um estado de energia mais elevado, na qual para voltar ao seu estado do inicial, é essencial que libere essa energia, podendo ser em forma de luz, calor ou radiações eletromagnéticas (SANSEVERINO, 2010). Um fato marcante é que esse fenômeno se torna mais presente nas pontas dos condutores, pois as cargas elétricas tendem a acumular-se em locais mais pontiagudos, tornando o campo elétrico mais intenso nesses pontos devido à grande densidade de cargas. Um condutor cilíndrico com seção transversal bastante curta pode ter o mesmo efeito, já que por sua vez possui uma área diminuta, causando uma grande densidade de cargas elétricas (GIUDICE et al., 2003).

Estudos relatam que a geometria adequada para a produção de um dispositivo capaz de produzir uma quantidade significativa de ozônio, seria o arranjo em cilindros coaxiais, pois a partir de um bom dimensionamento quanto as suas dimensões radiais, é possível obter uma maior intensidade de campo elétrico sem que haja total ruptura da rigidez dielétrica do ar (KUFFEL e KUFFEL, 2000).

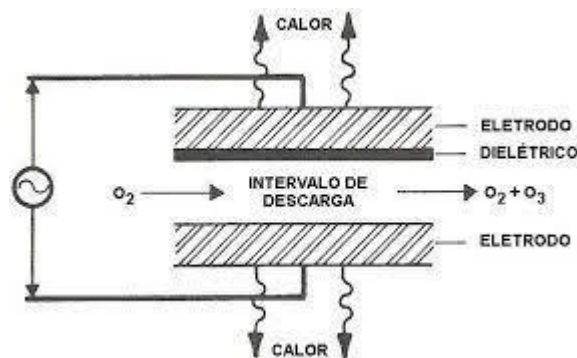
7.4.1 Produção de ozônio pelo método de descarga de corona

No processo de descarga corona, o ozônio é gerado por uma descarga elétrica em um tubo de inox chamado de reator de ozônio. O reator de ozônio utilizado é composto por dois elétrodos de inox e um dielétrico de vidro em um arranjo de cilindros coaxiais, sendo o eletrodo externo submetido ao potencial de aterramento, seguido por um espaçamento por onde o ar/oxigênio escoar e o meio dielétrico em contato com o segundo eletrodo submetido à alta tensão (SCHIAVON et al., 2014).

Através deste tubo aplica-se uma descarga elétrica de alta tensão juntamente com um fluxo de ar, no qual o oxigênio faz um escoamento laminar e incompressível passando por um processo de descarga elétrica pulsante (descarga corona), gerada por meio de um conversor flyback elevador de tensão, produzindo assim o gás ozônio, um gás com alto poder oxidante (LOPES, 2016).

Quando esta tensão excede o potencial de ionização do material dielétrico, os elétrons livres são impulsionados a altas velocidades, rompendo por meio do impacto as duplas ligações das moléculas de oxigênio (O_2) presentes no ar. Após o processo de quebra, as moléculas se agrupam em exatamente três de oxigênio (O), assim formando o ozônio (O_3), os geradores de ozônio apresentam melhor eficiência quando alimentados por oxigênio puro.

Figura 02. Geração de ozônio por descarga corona

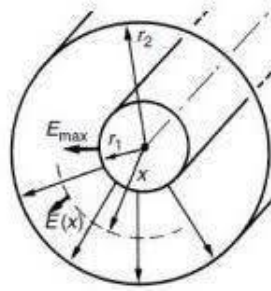


Fonte: (RICE et al, 1986, adaptada).

Ao ser aplicada uma diferença de potencial entre os dois cilindros, as suas superfícies serão uniformemente carregadas com certa quantidade de cargas por unidade de área, determinando assim o valor do campo elétrico no espaço entre os dois cilindros (ALONSO et al, 2005). Quando o nível de tensão no cilindro menor atingir o nível de ruptura, haverá uma descarga corona estabilizada, sem que a rigidez dielétrica do ar se rompa totalmente, sendo este o ponto ótimo para a produção de ozônio (KUFFEL E KUFFEL, 2000).

A Figura 03 abaixo demonstra um dispositivo com configuração em cilindros coaxiais. Como pode ser visto, as linhas de campo elétrico para esta configuração são radiais, estando o seu módulo em função apenas da distância x do centro do cilindro (CAMBOIM; NASCIMENTO; CALVACANT, 2019).

Figura 03. Campo elétrico em cilindros coaxiais



Fonte: (KUFFEL e KUFFEL, 2000)

Onde r_1 é o raio do cilindro interno (m), r_2 raio do cilindro externo (m), x a distância a partir do centro dos cilindros (m) e $E(x)$ a intensidade de campo elétrico em função da distância do centro dos cilindros ($V.m^{-1}$).

7.4.2 Cálculos para a produção de ozônio pelo método descarga de corona.

Segundo Camboim e Calvacant (2019), ao ser aplicada uma diferença de potencial entre os dois cilindros, as suas superfícies serão uniformemente carregadas com certa quantidade de cargas por unidade de área. É possível determinar o valor do campo elétrico $E(x)$ no espaço entre os dois cilindros através da lei de Gauss, como pode ser observado na equação 1.

Equação 1:

$$E(x) = \frac{\rho}{2\pi\epsilon} \cdot \frac{1}{x}$$

A intensidade de campo elétrico E pode também ser alcançada, a partir do negativo do gradiente da diferença de potencial V , como mostrado abaixo nas Equações 2 e 3:

Equação 2:

$$E = -\nabla V$$

Equação 3:

$$E(x) = \frac{V}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \cdot \frac{1}{x}$$

Quando o nível de tensão no cilindro menor atingir o nível de ruptura, ocorrerá uma descarga corona estabilizada conhecida como ruptura completa. Através dela é possível então determinar por meio da Equação 3, os parâmetros para que se obtenha o máximo de efeito corona estabilizado, sem que a rigidez dielétrica do ar se rompa totalmente, sendo este o ponto ótimo para a produção de ozônio (KUFFEL e KUFFEL, 2000).

8. Ação do ozônio na desinfecção

O uso do ozônio em relação aos demais agentes desinfetantes, é a maneira de como ocorre a destruição dos microrganismos, agindo diretamente na membrana celular, não precisando de tempo de ação prolongada, não formando resíduos, minimizando os riscos à saúde e mitigando o prejuízo ao meio ambiente (JACINTO et.al 2014). O processo de sanitização corresponde a um conjunto de processos empregados para diminuir a contagem microbiana de ambientes, com o objetivo de eliminar vírus, fungos e bactérias que ocorrem nos ambientes e nas águas (ROCHA et.al 1985).

8.1 Utilização do ozônio para desinfecção das águas.

Com o aumento da resistência de alguns microrganismos e bactérias aos desinfetantes. E o cloro apresentando reduzida inativação de esporos e para alcançar a desinfecção tendo de ser usado em maiores concentrações, aumentando assim a formação de trihalometanos, que causam diversos danos a saúde, como consequência a necessidade de se realizar a decoloração, procedimento que encarece o sistema de tratamento da água (CAMEL,1998).

Preocupado com a diminuição da formação de trihalometanos e a busca para novos meios de desinfecção que não acarrete na diminuição qualidade da água e que não agrida o meio ambiente, faz com que busque novos meios para desenvolver processos alternativos para o tratamento da água.

A utilização do ozônio tem sido amplamente utilizado como agente desinfetante, mostrando grande eficiência no processo, além da sua atuação na indústria de alimentos como agente desinfetante, na medicina e em tratamento de água de abastecimento e de reuso, devido ao fato do do processo de coagulação e floculação, que favorece a redução da cor, a remoção de substâncias orgânicas não biodegradáveis, diminuindo o odor além do seu potencial oxidante na eliminação de microrganismos (PARASKEVA P., GRAHAM N, 2002).

Em relação aos demais agentes desinfetantes é o fato que ocorre a destruição dos microrganismos, que diferente do cloro, age direto na membrana celular, não sendo necessário uma ação prolongada, não há formação de resíduos e diminui o risco a saúde e o prejuízo ao meio ambiente (FACILE et al, 2000).

9. MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado para a construção de gerador de ozônio para a desinfecção das foi criado pelo próprio autor. A Figura 04 apresenta o modelo interno do protótipo.

9.1 Modelo de um protótipo de baixo custo para a produção de ozônio pelo método corona

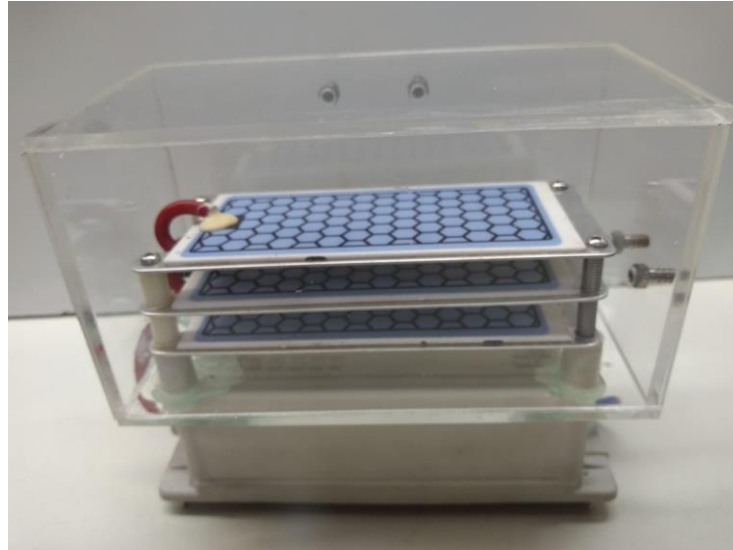
Figura 04. Modelo interno do protótipo



Fonte: Próprio autor, 2021.

O sistema é composto por, 1 cabo de força tripolar de 1,5 metros de comprimento e bitola de 3 x 0,75 mm, 1 temporizador TT34 HCRL 100 a 240 VCA, conectores Wago modelo 221-612 6 mm, tomada chave on/off com fusível, 1 micro ventilador 50/60 hz 127w, chapa de aço carbono 20 com 0,90mm de espessura, parafusos e 1 kit célula geradora de ozônio (Figura 05).

Figura 05. Kit célula para gerador de ozônio



Fonte: Próprio autor , 2021

O kit célula do gerador é do modelo AP5G, com tamanho de 150 mm de largura, 110 mm de comprimento e 59 mm de largura , composto por uma célula geradora de ozônio portátil que libera 15 gramas de ozônio por hora, dissipadores de calor em alumínio, placas triplas de cerâmica com maior funcionalidade, tensão de entrada de 127 VAC, potência de 110 W, sua alimentação de gás pode ser feita tanto por ar seco como oxigênio e o seu método de geração de ozônio é o de descarga de corona, objeto de estudo do trabalho.

Figura 06. Cabo de força



Fonte: Cabo de força tripolar 3 pinos , 2021

O cabo de força tripolar utilizado (Figura 06), padrão brasileiro de 3 pinos suporta até 10 amperes conforme as normas exigidas pelas NBR13249.

Figura 07. Temporizador cíclico



Fonte: Temporizador cíclico timer digital TT34, 2021

O temporizador (Figura 07) modelo TT34, com o dimensionamento de 35 mm de largura, 78 mm de comprimento e 64 mm de profundidade, possuiu 2 saídas temporizadas, sua temporização é cíclica, e pode ser medida em segundos, minutos e horas, a alimentação do mesmo e a 100 a 240 Vca com um consumo de 2 VA, a sua instalação deve ser realizada através do encaixe em painel com abertura de 29 mde largura e 71 mm de comprimento.

O modelo TT34 é um temporizador digital microprocessado, que dispõe de duas entradas digitais para habilitação da temporização (CNT EN) e reset (RESET), que pode ser proveniente de contato livre de tensão. A programação do instrumento é realizada através de três teclas frontais e o comando da contagem pode ser feito pela tecla ou mediante a entrada nos terminais CNT EN e RESET, que se encontra na parte superior da estrutura (Figura 08) onde será realizado as programações, para o controle do protótipo.

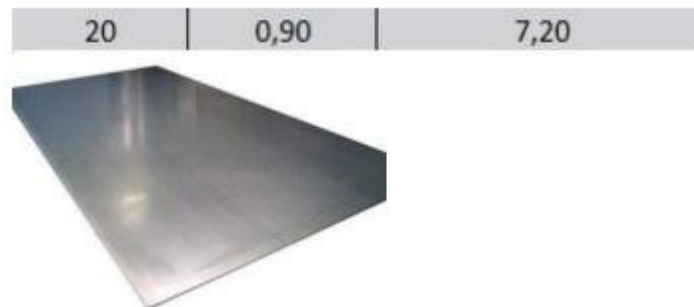
Figura 08. Conector Wago



Fonte: Conector Wago 2 fios ,2021.

Os conectores modelo Wago 221-412 (Figura 9), utilizados para o protótipo tem a tensão de 600 V, corrente 30 A, com o número total de 2 pontos de conexão, a tecnologia de conexão utilizada é a cage clamp , sua atuação do tipo alavanca, seu material de condutores conectáveis é o cobre , secção transversal nominal 6 mm² , condutor sólido 0,5... 6 mm² / 20, 10 AWG condutor semirrígido 0,5 ... 6 mm² / 20 ... 10 AWG condutor flexível 0,5 ... 6 mm² / 20 ... 10 AWG.

Figura 09. Chapa de aço



Fonte: Chapa de aço carbono, 2021

A estrutura do aparelho é feita através de uma chapa de aço carbono (Figura 10), com a espessura de 0,90 mm, sendo realizadas aletas para a entrada e saída da refrigeração, estas aletas foram realizadas por um equipamento de corte a plasma.

Figura 10. Micro ventilador



Fonte: Micro ventilador axial HC12038HB, 2021

O micro ventilador axial modelo HC12038HB, possui tamanho de 120 mm de largura, 120 mm de comprimento e 38 mm de profundidade, possui rolamentos, uma tensão de 110 V e uma potência de 16,9 á 18 W e a uma rotação de 2600/2900 RPM.

Figura 11. Parafuso



Fonte: Parafuso DIN7970, autobrocante, 2021

O parafuso utilizado para a construção do protótipo do gerador de ozônio, e da marca Ciser modelo DIN 7970, um parafuso auto-brocante, de cabeça philips flangeado, de tamanho 4,2 x 13 mm composto de material aço médio carbono cementado e temperado com acabamento de zinco.

Figura 12. Tomada chave on/off com fusível



Fonte: Tomada chave on/off com fusível e led SPTech-Y, 2021

A tomada da marca SPTech-Y, modelo 2019, com uma caixa base PVC com tomada e uma chave liga e desliga (gangorra com led) com porta fusível e painel de 10 A.

Figura 13. Compressor de ar



Fonte: Próprio autor, 2021

Figura 14. Parte interna compressor de ar



Fonte: Próprio autor, 2021

O compressor de ar modelo AP 3500, utilizado para a construção do protótipo, possui 2 saídas de ar com 2,0 litros por minuto, 2 velocidades de regulação do ar, com uma vazão de 4,0 litros por minuto e uma voltagem de 127 volts.

A partir desses componentes foi possível a construção de um protótipo de gerador de ozônio, pelo método descarga de corona.

A estrutura do gerador de ozônio, foi fabricada em duas partes de uma chapa de aço carbono, com espessura 0,90 mm, a base e a tampa, com as dimensões de 264 mm de comprimento, 170 mm de altura e a largura de 167 mm. Na estrutura foi realizado um corte de 46 mm por 26 mm para receber a tomada chave gangorra de três pinos e o fusível, também foram feitos cortes em formatos de aletas para a entrada e saída do ar, ao total foram realizados oito furos de 1/8 para a fixação com parafusos auto brocante de cabeça philips flangeado, com o diâmetro fio 42 mm e comprimento 13 mm. Na tampa do protótipo foi realizado um corte de 74 mm de comprimento e 3 mm de largura para acondicionar o temporizador, e foi realizado dez furos de 1/8, sendo oito para a fixação da tampa na base e dois para fixação da alça de transporte.

No interior da base foram instalados os componentes, o micro ventilador, a célula geradora de ozônio, compressor e chave tipo gangorra três pinos, os acessórios foram fixados com auxílio da fita dupla face. Na tampa foi posto o temporizador e fixado a alça de transporte.

O funcionamento do protótipo se dá quando ligado em uma tomada de energia 127 v, a corrente elétrica gerada chega até a tomada de gangorra do gerador de ozônio, onde se encontra uma chave liga e desliga onde sendo colocada na posição 01 (liga), a corrente é liberada para o funcionamento do temporizador. O temporizador tem a função de determinar o tempo que o aparelho ficará ligado, ao selecionar o tempo e o modo, o mesmo deve ser acionado através da tecla (u) do painel, executando o fechamento dos contatos e acionando assim o compressor de ar, o micro ventilador e a célula geradora de ozônio.

O compressor de ar, produz o ar que será inserido através de um orifício em uma câmara de acrílico que envolve a célula geradora, e posteriormente saíra pelo outro orifício o gás de ozônio, o compressor gera uma proporção de 4 litros por minuto.

O micro ventilador tem a função de refrigerar todo o sistema interno, garantindo assim que não ocorra o superaquecimento do equipamento, como consequência garante uma maior vida útil. A célula geradora de ozônio, produz o ozônio por meio de uma descarga elétrica, este campo elétrico deve ser suficientemente intenso para realizar a ionização do ar, este processo é conhecido como descarga de corona, em funcionamento a célula produz uma quantidade de ozônio de 15 g/h, as conexões elétricas foram realizadas pelos conectores especificados

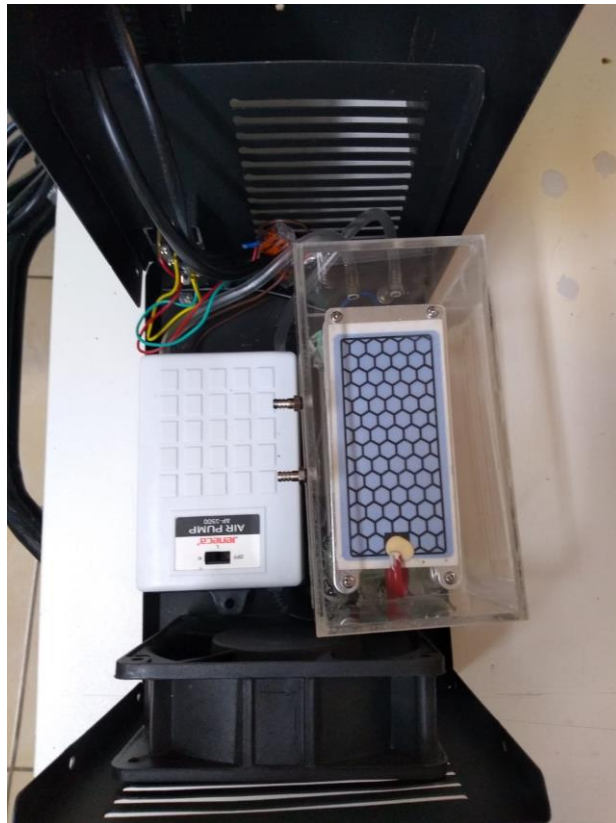
anteriormente. Abaixo (Figura 16), se encontra fotos retiradas pelo autor após a finalização da construção do protótipo, a partir da montagem do protótipo foi possível avaliar o seu funcionamento e se ocorreria a produção de ozônio.

Figura 15. Protótipo final



Fonte: Próprio autor, 2021

Figura 16. Protótipo final, parte interna



Fonte: Proprio autor,2021

10. RESULTADOS E DISCUSSÃO

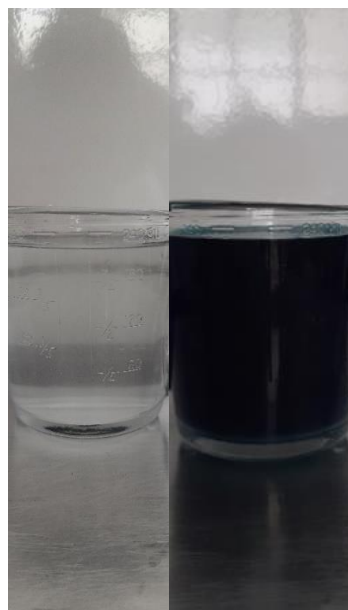
Para comparar a eficácia do protótipo criado, foi utilizado o mesmo teste feito por Cavalcanti et al. (2017) e Camboim et al. (2019), para avaliar o funcionamento do protótipo e certificar que havia a produção de ozônio.

O teste mostrou que a solução de amido solúvel e iodeto de potássio (solução incolor), e depois a solução com coloração azul escura, que ocorreu devido à oxidação do iodeto, foi-se assim comprovado a formação do ozônio no reator. O amido é um polissacarídeo que pode ser dividido em duas estruturas, a amilose e a amilopectina, a primeira é a parte linear da cadeia polimérica e possui conformação helicoidal.

Para o experimento, foi bombeado o gás de saída do protótipo em uma solução que continha amido solúvel e iodeto de potássio, este produto não possui coloração, contudo quando se encontrou na presença do ozônio, o iodeto foi oxidado e transformou-se em iodo, devido ao fato de reagir com o amido, assim modificou a sua coloração para azul.

O mesmo teste foi realizado pelo autor, para a comprovação da produção do ozônio pelo protótipo, onde preparou-se uma solução de amido solúvel e iodeto de potássio (solução incolor), e colocou o gás de saída do protótipo, pelo fato da oxidação do iodeto, que se transformou em iodo pela reação que ocorreu com o amido, modificando a coloração da solução incolor para azul-escura, provou-se assim a formação do ozônio no reator (Figura 17).

Figura 17. Solução não oxidada e solução oxidada



Fonte: Próprio autor, 2021.

Primeiramente vemos o amido com o íon iodeto, não ocorre nenhuma reação e a solução permanece incolor, quando se converte o íon iodeto em iodo, ele reage com outro íon iodeto e forma-se a molécula I_3^- , um complexo com o amido que tem uma estrutura helicoidal, o iodo se liga dentro dessa estrutura, formando um complexo de coloração azul escura.

11. CONCLUSÃO

Segundo os testes realizados com o protótipo, constatou a produção de ozônio, obtido a partir do efeito corona, mostrando a viabilidade técnica no que se refere a construção de um reator de ozônio, destaca -se ainda a possibilidade de utilizar o reator em uma escala maior, servindo como alternativa de tratamento de efluentes e em outras aplicações.

De acordo os trabalhos estudados, foi possível avaliar a atuação do ozônio para a desinfecção de água como um método alternativo ao cloro, mostrando que os resultados alcançados estão de acordo com a especificação pela legislação vigente e que o ozônio não desenvolve subprodutos, sendo esta uma grande preocupação atual, pois assim minimiza os riscos à saúde e prejuízo ao meio ambiente. sendo o gás utilizado no tratamento da água.

Para Montoni, (2019), o tratamento com ozônio nas águas permite a desinfecção de patógenos com grande eficiência, levando a purificação de 99,9% desses microrganismos que se fazem presentes na água, sendo também economicamente viável e mais limpo, uma vez que seu método não implica a formação de resíduos na água tratada, podendo esta ser utilizada para uso doméstico, como proposta para um próximo trabalho , ficaria como opção de realizar testes em relação a microbiologia, no sentido de verificar sua eficácia na eliminação dos microrganismo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. M. S.; BRITO, L. L. A.; FERNANDES NETO, M. L. et al. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, p. 37-47, 2002.

ALHARBI, S. K.; KANG, J.; NGHIEM, L. D.; MERWE, J. P. van de; LEUSCH, F. D. L.; PRICE, W. E. Photolysis and UV/H₂O₂ of diclofenac, sulfamethoxazole, carbamazepine, and trimethoprim: Identification of their major degradation products by ESI–LC–MS and assessment of the toxicity of reaction mixtures. **Process Safety and Environmental Protection**, v.112, p. 222-234, 2017.

ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A.; DURÁN, N.; **Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio**. Química Nova, v. 27, n.5, p.818–824, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422004000500023&script=sci_arttext .Acesso em:06 maio.2021.

ALONSO, J. M.; GARCIA, J.; CALLEJA, A. J.; RIBAS, J.; CARDESIN, J.; **Analysis, design, and experimentation of a high-voltage power supply for ozone generation based on current-fed parallelresonant push-pull inverter**. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 41, No. 5, pp. 1364-1372, Sept/Oct, 2005. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1510836>. Acesso em: 08 de maio.2021.

AQUA AMBIENTE. **Tratamento águas ultravioleta**. 2004.

ARENAS, L.A.O. **Desenvolvimento de Estrutura para Purificação de Água Potável, Através da Irradiação de UV com Lâmpadas Fluorescentes Especiais**. 157 f. 2014. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, UNESP, Ilha Solteira, 2014.

ARMAROLI, J. G.; **Nova abordagem de ozonizadores para tratamento de água e esgoto por descarga corona**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Cabos e cordões flexíveis para tensões até 750 V – Especificação – NBR 13249**. Rio de Janeiro, 2000.

BARBOSA, A. O. **Uso da radiação ultravioleta como técnica avançada de tratamento de água**. 53 f. 2016. Monografia de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

BRAGA, B. et al.; **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall 2002. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=3234491&forceview=1>. Acesso em:12 de maio.2021.

CAMBOIM, L. F.; NASCIMENTO, F. A.; CALVACANTI, P. A. Construção de um protótipo gerador de ozônio de baixo custo. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Paulo Afonso, v. 8, n. 1, p. 171-187, ago. 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/54195#:~:text=O%20presente%20artigo%20retrata%20o,fotovoltaicos%20como%20fonte%20de%20energia..> Acesso em: 05 mar. 2021.

- CAMEL V, BERMOND A. The use of ozone and associated oxidation processes in drinking water treatment. **Water Research**. 1998.32.
- CAVALCANTI, L. A. P. et al. Tratamento de águas de tanques de criação de tilápias por ozônio gerado a partir de um protótipo alimentado a energia solar. **Congestas**, Paulo Afonso, v. 5, p. 1-11, 2017.
- CHANG, H.Y.; SHELDON, B.W. Application of ozone with physical wastewater treatments to recondition poultry process waters. **Poultry science**, v.68, p. 1078-1087, 1989.
- DA SILVA, L. M.; DE FARIA, L. A.; BOODTS, J. F. C.; *Electrochim. Acta*, v.47, p. 395.2003
- DE RENZO, D.J. **Pollution control technology for industrial wastewater**. Parke Ridge, N.J., 1981.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: RiMa, 2002.
- ELIASSON, B.; KOGELSCHATZ, U. **Modeling and applications of silent discharge plasmas**. IEEE Transactions on Plasma Science, v.19, n.2, p.309-323, 1991.
- FACILE N, BARBEAU B, PREVOST M, KOUDJONOU B. Evaluating bacterial aerobic spores as a surrogate for Giardia and Cryptosporidium inactivation by ozone. **Water Res** 2000;34(12):3238–46.
- GIUDICE, E. B. et al. **Desenvolvimento de condutores compactos aplicados a projetos de linhas aéreas de transmissão**. 2003. Disponível em: <https://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20090424161104Desenvolvimento%20de%20Condutores%20Compactos.pdf>. Acesso em 15 abr. 2021.
- GOGATE, P.R.; PANDIT, A.B. **A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions**. Advances in Environmental Research 8 - Elsevier. p.501-551, 2003.
- GUZEL, S, Z. B.; BEVER, P. I.; GREENE, A. K. **Efficacy of ozone to reduce bacterial nocivas: aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidropônica**. Vitória: PROSAB, 2004. p. 169-208. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643803002068>. Acesso em: 14 abril.2021.
- JACINTO, R. B. S; NAVARRO, R. S.; ZÂNGARO, R. A; FERNANDES, A. B; LIMA, C. J. **Utilização de ozônio para redução da carga microbiana em água de reuso**, Unicastelo São José dos Campos, 2014. Disponível em: https://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_164.pdf. Acesso em: 08 maio 2021.

KOROL, S. Desinfección da agua: acción comparativa del ozono y cloro sobre un amplio espectro bacteriano. **Revista Argentina de Microbiología**, Buenos Aires, v. 27, n. 4, p.175-83, 1995.

KUFFEL, J.; KUFFEL, P. **High voltage engineering fundamentals**. Newnes, 2000. Disponível em: <[http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Electronics%20and%20Electrical%20Engineering%20Collection/KUFFEL,%20E.%20\(2000\).%20High%20Voltage%20Engineering%20-%20Fundamentals%20\(2nd%20ed.\)/High_Voltage_Engineering_2E.pdf](http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Electronics%20and%20Electrical%20Engineering%20Collection/KUFFEL,%20E.%20(2000).%20High%20Voltage%20Engineering%20-%20Fundamentals%20(2nd%20ed.)/High_Voltage_Engineering_2E.pdf)> Acesso em 15 abr. 2021.

LAPOLLI, F. R.; SANTOS, L. F.; HÁSSEMER, M. E. N.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P. Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidropônica**. Vitória: PROSAB, 2003. p. 169-208.

LOPES, M. S. **Remoção do fármaco ácido mefenâmico em água via oxidação por cloro e por ozônio por cloro e por ozônio**. 2016. 76 fls. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/140206>. Acesso em 14 abril.2021.

MAIDANA, W.; KREUTZ, C.; BERNARDI, R.; "Análise de clarificação de efluentes industriais utilizando gerador eletrônico de ozônio", p. 6940-6947. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [= Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]. São Paulo: Blucher, 2015.

MARTINS, A.; SILVA, J. T.; GRACIOLA, L.; FRÉZ, A. R.; RUARO, J. A.; MARQUETTI, M. G. K. **Bactericidal effect of high frequency generator in Staphylococcus aureus culture**. Fisioter Pesq, v. 19, p.7-153, 2012.

MONTONI, Hugo da Costa Pevide Leonardo Fontinelli. **Tratamento de água de chuva com ozônio**. 2019. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Taubaté, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br:8080/jspui/bitstream/20.500.11874/3876/1/TCC%20Eng%20Hugo%20da%20Costa%20Pevide%20e%20Leonardo%20Fontinelli%20Montoni-1.pdf>. Acesso em: 12 maio 2021.

PARASKEVA P., GRAHAM N. **Ozonation of municipal wastewater effluents**. Water Environment Research. 74 (6): 569-81. 2002.

RICE, R. G.; BOLLYKY, L. J.; LACY, W. J.; **Analytical aspects of ozone treatment of water and wastewater**. Chelsea: Lewis, 1986.

RICE, R. G.; NETZER, A. **Handbook of ozone technology and applications**. Michigan: Ann Arbor Science, v. 1, 1982.

RICE, R. G.; ROBSON, C. M.; MILLER, G. W.; HILL, A. B. **Uses of ozone in drinking water treatment**. **Journal of the American Water Works Association**, Denver, v. 73, n. 1, p. 44-47, 1981. Disponível em: <https://awwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.1551-8833.1981.tb04637.x> Acesso em: 15 abril.2021.

ROCHA, J. A. A, COELHO, D.T., SOARES, C F., ANDRADE, N.J. E CHAVES, J.B.P. **Eficiência de vapor, cloro e iodo na sanitização de bateeira de manteiga.** Revista do ILCT 40(238): 13-20, 1985.

SANSEVERINO, A. A. S. et al. **Metodologia de cálculo da tensão crítica de isolamento de linhas de transmissão de energia elétrica usando o método dos elementos finitos.** 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/2714>. Acesso em: 15 abril.2021.

SILVEIRA, I. C. T. **Cloro e ozônio aplicados a desinfecção de efluente hospitalar tratado em contadores biológicos rotatórios, com avaliação de efeitos tóxicos em DAPHNIA SIMILIS.** 2004. Dissertação (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHIAVON, G. J. et al. **Projeto e análise de um sistema gerador de ozônio para remoção de cor de efluente têxtil.** Revista Ciência e Tecnologia, [S.l.], v. 16, n. 28/29, jan. 2014. ISSN 2236-6733. Disponível em: <<http://www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/view/297>>. Acesso em: 12 maio 2021.

SCHIAVON, Gilson Junior. **Modelagem, desenvolvimento e análise de um sistema gerador de ozônio, operando em alta frequência com controlador digital de sinais.** 2012. 265 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Modelagem, Controle e Automação de Processos., Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3657>. Acesso em: 15 mar. 2021
Secretaria de Saúde e do Meio Ambiente – Portaria nº05/89 –SSMA,1989.

SILVA, Leonardo Morais da. **Investigação da tecnologia eletroquímica para a produção de ozônio: aspectos fundamentais e aplicados.** 2004. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2004.

TORRES, E. A. F. S; REGE FERREIRA, A. F; RÍMOLI, C. D. **Estudo das propriedades desinfetantes do ozônio em alimentos.** Higiene Alimentar, 10 (42) 18 -23, 1996.

VAN BRUNT, R. J. Physics and chemistry of partial discharge and corona. Recent advances and future challenges. **IEEE transactions on Dielectrics and Electrical insulation**, v. 1, n. 5, p. 761-784, 1994. ISSN 1070-9878.

VIDAL, F. J. R. **Proceso de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización.** Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2003, 253 p.

WATER. Treatment handbook. 7 ed. France. Degremont.2 v.1904 p. 2007

WICKRAMANAYABE, G. B. Disinfection and sterilization by ozone. In: **Disinfections, Sterilization, and Preservation.** Edited by Block, S.S..Philadelphia. Lea & Fabiger Publishers, 4 ed, pp.182-190, 1991.

WRIGHT, H. B., CAIRNS, W. L. **Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta.** In: SIMPOSIO REGIONAL SOBRE CALIDAD DEL AGUA: DESINFECCIÓN EFECTIVA, 1998, Lima, Peru. Calidad del Agua: Desinfección Efectiva. 1998. p.1-28.