

Eixo Temático ET-11-020 – Outros

## CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO GERADOR DE OZÔNIO DE BAIXO CUSTO

Laércio Camboim Ferro<sup>1</sup>, Luiz Antônio Pimentel Cavalcanti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, *Campus* Paulo Afonso, Bahia. E-mail: [camboim.engenharia@hotmail.com](mailto:camboim.engenharia@hotmail.com); <sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, *Campus* Paulo Afonso, Bahia. E-mail: [luiz.cavalcanti@ifba.edu.br](mailto:luiz.cavalcanti@ifba.edu.br).

### RESUMO

O grande avanço das indústrias causa sérios danos ao meio ambiente, estes são visivelmente decorrentes principalmente da poluição emitida em forma de gases e efluentes. No entanto, a maioria das empresas vem buscando alternativas que sejam ao mesmo tempo rápidas e eficientes para diminuir a degradação do meio. Em relação à emissão de efluentes, existem pesquisas recentes que buscam métodos para tratar de maneira eficaz a água residual descartada em processos industriais, dentre esses métodos, destaca-se a utilização de ozônio. O presente trabalho objetivou desenvolver um protótipo de um gerador de ozônio sustentável, construído com materiais recicláveis. Dessa forma, é possível gerar ozônio em quantidade suficiente para que sejam feitos testes e simulações laboratoriais, de modo a buscar aperfeiçoar o processo de tratamento de efluentes com ozônio. Após a construção do protótipo a constatação da produção do ozônio se deu por borbulhamento de fluxo de saída do reator diretamente em uma solução de iodo solúvel/iodeto de potássio. Tal constatação foi obtida pela mudança de coloração da solução de incolor para azul escuro intenso.

**Palavras-chave:** Gerador de ozônio, oxidação, tratamento de efluentes.

### INTRODUÇÃO

A crescente preocupação das indústrias em mitigar o impacto ambiental gerado em seus processos, associado à crise hídrica recente tem levado as indústrias a adotar sistemas mais eficientes de tratamento de efluentes e reuso da água (FORNARI, 2011). O ozônio tem sido amplamente empregado em tratamento de efluentes industriais e doméstico, no tratamento de água bruta, na medicina entre outras aplicações (SCHIAVON, 2013).

A vantagem da utilização do ozônio é que ele reduz significativamente a cor e a turbidez de efluentes, mesmo aqueles que contêm corantes têxteis em um curto período de tempo (KUNZ et al., 1999). Pode ser utilizado como alternativa ao processo de cloração em estações de tratamento de água, pois há formação de compostos organoclorados, subprodutos indesejáveis por seu potencial cancerígeno (SILVA e DANIEL, 2015).

Dentre os processos de obtenção de ozônio podemos destacar: a) a eletrólise: destaca-se nesse processo a dificuldade manipular o ozônio produzido; b) a radiação ultravioleta: que não atende as necessidades da indústria devido ao custo e baixo rendimento de produção; c) descarga corona: que produz quantidades significativas de

ozônio, sendo o método mais utilizado para obtenção do produto (MAIDANA et al., 2015).

O efeito corona gera o ozônio através de uma descarga elétrica em um tubo ou superfícies metálicas paralelas na presença de fluxo de oxigênio ou ar em regime laminar, esta região é chamada de reator de ozônio. A descarga elétrica pulsante no reator de ozônio é gerada com o auxílio de um conversor *flyback* elevador de tensão, quando a referida tensão excede o potencial de ionização do material dielétrico, os elétrons livres atingem altas velocidades e de acordo com a teoria das colisões as duplas ligações das moléculas de oxigênio se rompem e reagrupam-se formando o ozônio, composto com alto poder oxidante (LOPES, 2016)

Devido à alta instabilidade da molécula do ozônio seu armazenamento, torna-se inviável justificando a sua produção *in situ*. A ozonização é um processo de absorção gasosa com reação química onde a etapa limitante do processo é a transferência de massa devido à baixa solubilidade do ozônio na água (FORNARI, 2011).

O presente trabalho objetiva a construção de protótipo gerador de ozônio de baixo custo a partir da reutilização de materiais de sucata de computadores e resíduos sólidos como garrafas PET, tubo de PVC e latinhas de alumínio. Tal sistema visa viabilizar o processo de ozonização em escala laboratorial para sua utilização em estudos em tratamento de efluentes.

## **OBJETIVO**

Construir um protótipo gerador de ozônio a partir de materiais potencialmente recicláveis e/ou de reuso visando a redução de custos para aplicação em tratamento de efluentes.

## **METODOLOGIA**

A tensão de saída da fonte convencional (9 V) foi utilizada como alimentação pelo bloco conversor *flyback*, aproveitado de sucata de televisão juntamente com um oscilador *Hartley*, que tem a função de gerar a alta tensão para estabelecer a descarga corona no reator de ozônio. No circuito gerador de alta tensão foi utilizado um transistor e acoplado ao mesmo um dissipador de calor reaproveitado de uma placa mãe proveniente de resíduo eletrônico do laboratório de informática do IFBA, campus Paulo Afonso.

O bloco reator de ozônio onde foi gerado o efeito corona a partir de eletrodos (construídos a partir do reaproveitamento de resíduos de cano de cobre) ligados aos terminais de saída do *flyback* quando ligado a fonte de tensão promoveu uma descarga elétrica que na presença do ar foi responsável pela quebra da molécula de oxigênio originando o ozônio. Para tanto foi necessário avaliar uma geometria adequada pra promover uma maior superfície de contato entre a superfície que ocorre a descarga elétrica e o ar.

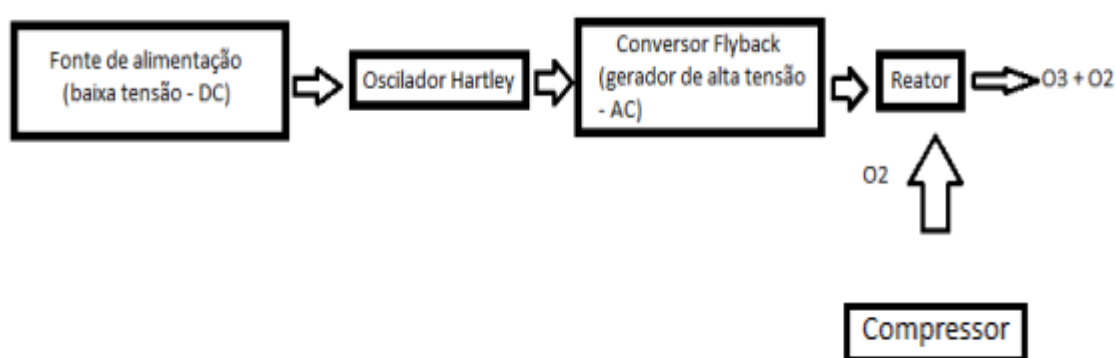
Duas geometrias foram avaliadas, o arranjo em cilindros coaxiais e o arranjo em placas paralelas. A depender da distância e simetria das placas de metal e da potência nos terminais de saída do *flyback*, um ou mais arcos elétricos irão surgir ao se alimentar a fonte de tensão. Para evitar os arcos elétricos e manter apenas o efeito corona, deve-se distanciar as placas até que os arcos parem de surgir, momento em que identificamos apenas um som característico da tentativa da alta tensão de romper a rigidez dielétrica do ar e alguns flashes de coloração violeta.

Após encontrar a geometria e distância adequada o reator de ozônio foi encapsulado em um tubo de PVC, visando manter um fluxo de escoamento de ar em regime permanente e direcionado para as superfícies geradoras do efeito corona. O fluxo de ar foi obtido com o auxílio de um compressor de um aparelho de nebulização que fez o papel de um soprador.

Por sua vez a saída do reator gerador de ozônio foi ligado em série com uma solução de iodo solúvel a 1%, a produção de ozônio foi avaliada pela mudança de coloração da substância através da reação de oxidação entre o ozônio e o iodo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

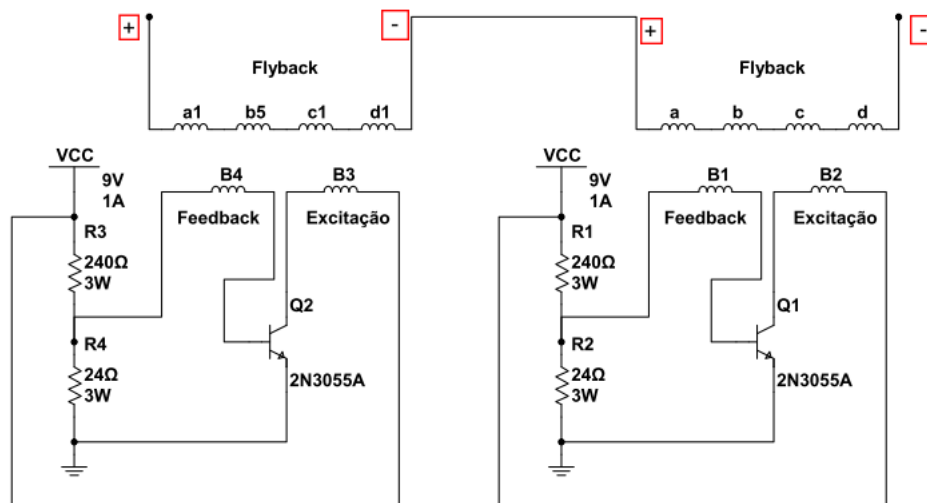
O processo de confecção do protótipo gerador de ozônio se deu de acordo com o diagrama de blocos apresentado na Figura 01.



**Figura 1.** Diagrama de blocos do gerador de ozônio (Fonte: Autoria própria).

As fontes utilizadas são fontes de corrente contínua (DC) recicladas de carregadores de bateria, onde as suas características são 9V dc/1A. É de grande importância que as fontes utilizadas possuam as características supracitadas, uma vez que qualquer diferença nesses valores comprometerá a estabilidade do sistema, danificando os componentes utilizados e/ou o não funcionamento do reator, comprometendo a produção do ozônio.

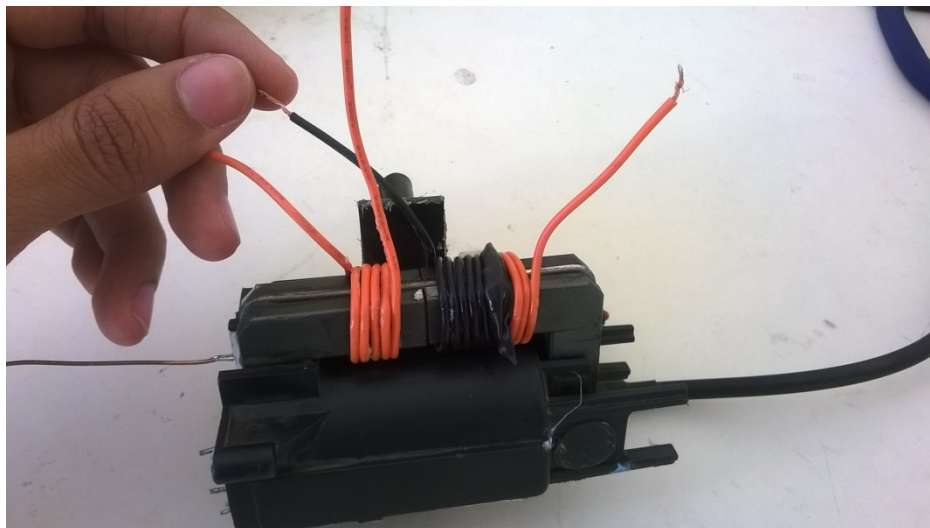
O Oscilador *Hartley* é a célula responsável por chavear a tensão contínua provinda da fonte de 9Vdc, causando uma variação no fluxo magnético no núcleo do flyback, fazendo com que o mesmo consiga produzir uma alta tensão. Para um melhor desempenho do reator, foram utilizadas duas células de Oscilador *Hartley* + *Flyback*. Conforme mostrado no diagrama (Figura 02)



**Figura 2.** Diagrama do Oscilador Hartley (Fonte: Autoria própria)

Para a produção dos osciladores *Hartley*, basta seguir o diagrama mostrado na Figura 02. Como os *flybacks* utilizados foram reciclados, e não se tinha conhecimento quanto às suas ligações internas, as bobinas primárias (excitação e *feedback*) foram feitas manualmente, envolvendo os núcleos dos *flybacks*.

Todas as bobinas devem ser enroladas mantendo-se o mesmo sentido de enrolamento. A bobina de excitação deve conter de 4 a 10 voltas, enquanto a bobina de *feedback* deverá conter de 2 a 4 voltas completas. Neste módulo foram utilizadas 9 voltas na bobina de excitação e 4 voltas na bobina de *feedback*, como mostrado na Figura 03.



**Figura 03 –** Enrolamentos das bobinas no flyback (Fonte: Autoria própria)

Vale ressaltar que o número de voltas ideal nas bobinas primárias pode ser encontrado de forma empírica, onde a melhor combinação de quantidade de voltas irá produzir um maior arco elétrico. Este parâmetro varia em cada *flyback*.

O conversor flyback, obtido a partir de sucata de televisão, é o responsável por elevar a tensão chaveada pelo oscilador *hartley* à ordem de kilo Volts, que ao ser conectado ao reator, causará o efeito corona nos eletrodos, produzindo ozônio.

As bobinas do Oscilador *hartley* foram enroladas, cada par na parte externa de cada núcleo como já mostrado na Figura 03.

Quanto aos terminais de saída, tem-se que o positivo é sempre o cabo de maior espessura encontrado na parte superior do componente. Para encontrar o terminal negativo, é necessário alimentar cada oscilador já acoplado ao núcleo do componente e então passar a ponta (já desencapada) do terminal positivo, próximo aos pinos encontrados na parte inferior do *flyback*. O pino que ao ficar próximo do terminal positivo causar um arco elétrico, é o terminal negativo. Os demais pinos devem ser retirados e isolados para evitar interferências.

Após todos os terminais serem determinados, as duas células Oscilador *Hartley* + *Flyback*, são interligadas em série para aumentar a tensão de saída, ou seja, o terminal positivo de um *flyback* é conectado ao negativo do outro, fazendo com que as duas células se combinem e reste apenas uma saída positiva e negativa, que serão conectados ao reator.

Com a parte elétrica já montada, resta apenas produzir o reator. Este será responsável por ionizar o oxigênio e formar ozônio (Figura 04). Para tal, é necessário que ele esteja conectado a uma fonte de alta tensão e seus eletrodos estejam afastados de forma que não se formem arcos elétricos, contudo seja possível observar a formação de pontos ou “nuvens” de cor violeta, sendo estes os pontos de ionização do ar.



**Figura 4** – Reator gerador de ozônio (Fonte: Autoria própria)

Com o reator pronto, resta apenas acoplá-lo à fonte de alta tensão e ao compressor. O compressor utilizado foi uma bomba de nebulizador, que para evitar acidentes, deve ser acoplado à mangueira situada no mesmo lado em que ficou a ponta do eletrodo interno. O eletrodo interno deve ficar acoplado ao terminal negativo da fonte de alta tensão, devendo ser soldado e isolado. O eletrodo externo é acoplado ao terminal positivo, também soldando-o e isolando-o. A Figura 05 mostra a configuração final do gerador de ozônio montado no IFBA, campus Paulo Afonso – BA.



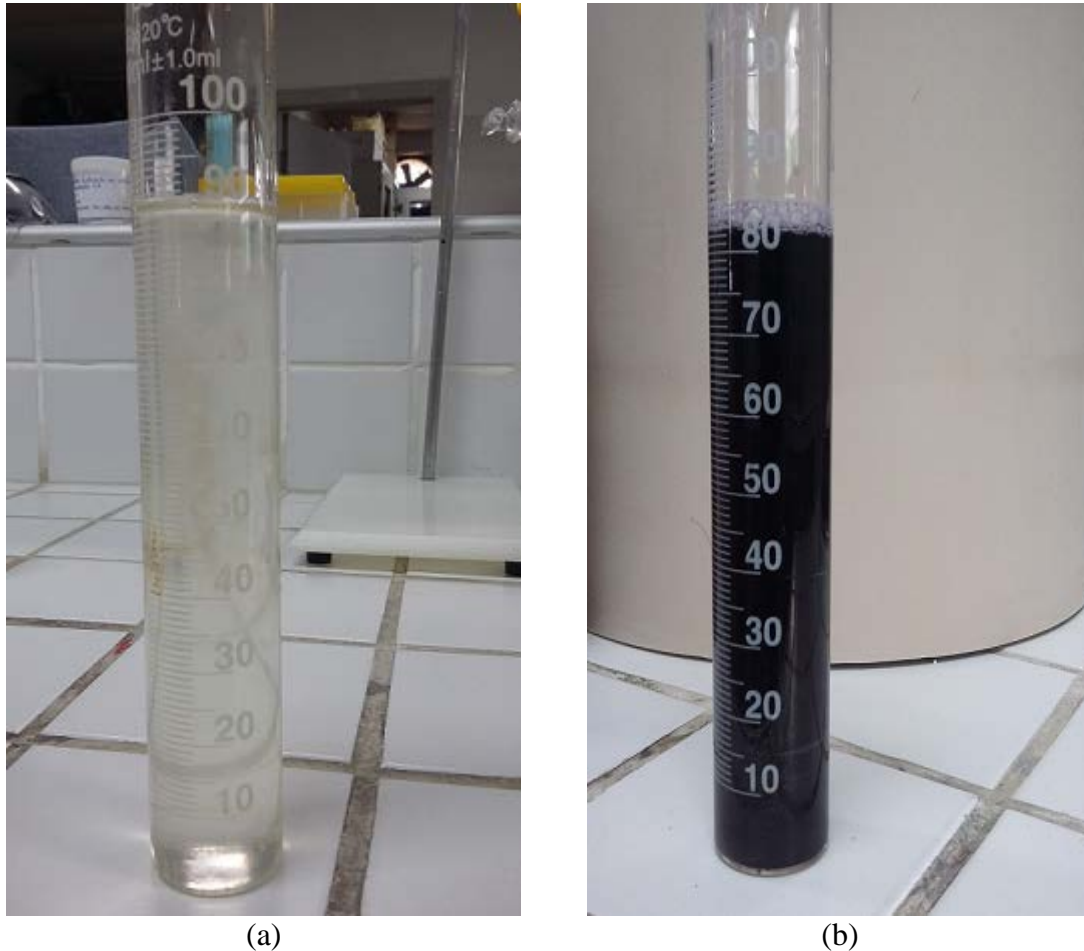
**Figura 5.** Protótipo gerador de ozônio pronto (Fonte: Autoria própria)

Na etapa final de teste precisávamos provar que o reator realmente produzia ozônio de modo satisfatório e isso poderia ser comprovado de maneira simples e prática. Preparou-se uma solução de amido solúvel e iodeto de potássio. Na presença do ozônio o iodeto foi oxidado, transformando-se em iodo, percebeu a formação de iodo, pois este reage com o amido, modificando a coloração da solução para azul escura ou roxa. Na Figura 06a mostra a solução de amido solúvel e iodeto de potássio (solução incolor). Na Figura 06b a solução com coloração azul escura devido à oxidação do iodeto comprovando 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. Podemos entender melhor a dinâmica de oxidação do iodeto a partir das Equações 1 a 3.



Inicialmente o Amido com o íon iodeto vemos que nenhuma reação ocorre (Equação 1) e a solução permanece incolor. Quando convertemos o íon iodeto em iodo, esse reage com outro íon iodeto, formando a molécula  $I_3^{-}$ , que forma um complexo com o amido cuja estrutura é helicoidal (tubular). O iodo se liga dentro dessa estrutura formando um complexo.



**Figura 06.** Solução de amido/iodeto: a) Solução não oxidada; b) Solução oxidada.

Importante destacar que o oxigênio não consegue oxidar o íon iodeto, tal oxidação é obtida na presença do ozônio. O ozônio é uma molécula formada por três átomos de oxigênio ( $O_3$ ). Ele é instável e altamente reativo. O ozônio é utilizado como branqueador, agente desodorizante e agente esterilizante para ar e água potável. Ele é tóxico em altas concentrações.

## CONCLUSÃO

A produção de ozônio a partir de um reator construído com materiais de reuso ou potencialmente reciclado é uma alternativa viável para tratamento de efluentes industriais e águas residuais. Pode ser aplicado ainda com agente bacteriológico em água potável sem deixar passivos como compostos organoclorados. A produção de ozônio foi constatada de maneira simples e eficiente através da oxidação dos íons iodeto presentes na solução de amido solúvel. Tal reator pode ser escalonado (ampliado) e servir como alternativa no tratamento de efluentes têxteis, recuperação de águas de cultivos de pescados entre outra infinidade de aplicações.

## REFERÊNCIAS

CARVALHO, M. C. S. **Ozônio no Tratamento de Águas Residuárias de Laticínios: Otimização e Cinética de Degradação de Matéria Orgânica**. 2016. 109 fls. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8212>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

FORNARI, A. M. D. Geração de Microbolhas de Ozônio através de Materiais Porosos para Aplicação em Tratamento de Efluentes. 2011. 37 fls. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/37457/000822126.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 jul. 2016.

KUNZ, A.; FREIRE, R. S.; ROHWEDDER, J. J. R.; DURAN, N. Construção e Otimização de um Sistema para Produção e Aplicação de Ozônio em Escala de Laboratório. *Revista Química Nova*. São Paulo, v.22, n. 3, 425 – 428, 1999.

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: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/140206>>. Acesso em: 27 jun. 2016.

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.

SCHIAVON, G. J., ANDRADE, C. M., JORGE, L. M. M., PARAÍSO, P. Projeto e Análise de um Sistema Gerador de Ozônio para Remoção de Cor de Efluente Têxtil. *Revista Unisal*. São Paulo, v.16, n. 28, jun. 2013. Disponível em: <[www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/download/297/223](http://www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/download/297/223)>. Acesso em: 29 jun. 2016.

SILVA, G. H. R., DANIEL, L. A. Desinfecção de Efluente Anaeróbio com o uso de Ozônio/cloro. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. São Paulo, v. 20, n. 2, abr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000083662>