

## TRATAMENTOS DE ÁGUAS POR OZONIZAÇÃO: REVISÃO

Gabriela Chaves\*

Laís Bruna Verona\*\*

Maria Rita Chaves Nogueira\*\*\*

Marta Veronica Buss\*\*\*\*

### Resumo

Em todo o mundo pode-se encontrar projetos e alternativas para o reuso da água, mas em alguns locais, isso vem sendo considerado um caso emergencial, devido aos processos de desertificação e frequente escassez hídrica. O consumo desenfreado, aumento populacional e consequências do aquecimento global contribuem para o agravamento desta situação, incentivando a busca por conhecimentos e aplicações de novas e alternativas tecnologias no tratamento de água e efluentes. A principal função de uma estação de tratamento de águas (ETA) convencional é a de remover a carga poluente seja ela de composto coloidais, ou solúveis. Entretanto existe uma variedade de contaminantes, os quais muitas vezes não são totalmente eliminados. Nesse contexto é que tecnologias como a dos Processos Oxidativos Avançados (POAs) se inserem, potencializando a mineração, desinfecção, desintoxicação, remoção de cor e turbidez dessas águas.

Palavras-chave: Ozônio. Tratamento de águas. Tecnologias.

### 1 INTRODUÇÃO

A manutenção dos sistemas lóxicos brasileiros tem sido considerada um grande desafio para a sociedade atual. Diante de um cenário sem precedentes, no qual os sistemas lóxicos vêm sofrendo frequentemente uma variedade de distúrbios ambientais, tem sido exigido, cada vez mais, que medidas alternativas sejam tomadas em prol da conservação da

biodiversidade aquática (RODRIGUES; MALAFAIA, CASTRO, 2010), principalmente pelo mercado industrial, que é considerado um dos grandes vilões da degradação das águas e do ambiente.

Por muito tempo retirou-se da natureza, de forma desordenada, toda a matéria-prima utilizada nas empresas. A preocupação com o meio ambiente se tornou uma necessidade no cotidiano das empresas. Passou a ser um alvo importante na gestão de organizações inseridas em um mercado globalizado, com inovações tecnológicas constantes e de árdua concorrência, que necessitam ser flexíveis e contar com informações rápidas e corretas para auxiliar na tomada de decisões (RIBEIRO et al., 2010).

Rodrigues (2013) aponta que, o tratamento de efluentes industriais é um assunto de extrema importância para humanidade, pois os impactos causados pelos resíduos não gerenciados adequadamente, tem acarretado diversos males, comprometendo a vida não apenas dos humanos, como também, resultando no desequilíbrio à fauna e flora. Diante desse contexto, o ideal seria a crescente tendência por parte das indústrias em buscar alternativas que levem a soluções, cada vez mais eficazes no que diz respeito ao destino dos contaminantes gerados nos processos de produção.

Conforme Camatti (2015) em um primeiro instante, pode-se concluir que são simples os procedimentos e atividades de controle de cada tipo de efluente na indústria, contudo, as diferentes composições físicas, biológicas e químicas, as variações de volumes produzidos em relação ao tempo do processo produtivo, a potencialidade de toxicidade e os diversos pontos de geração na mesma unidade de processamento aconselham que os efluentes sejam caracterizados, quantificados, tratados e acondicionados de forma correta antes de serem devolvidos ao meio ambiente.

Desta forma novos métodos vêm sendo estudados, tanto para aperfeiçoamento dos tratamentos conhecidos, como para desenvolvimento de novos meios de tratamento, visando aperfeiçoamento, maior economia e eficácia. Dentre as novas tecnologias estudadas, está a ozonização.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL

O Brasil dispõe da maior reserva hídrica superficial do planeta, cerca de 19,4%, e um dos maiores potenciais hidráulicos. Porém, não está em situação confortável em relação a disponibilidade hídrica e localização de suas demandas consultivas e não consultivas de água (FREITAS, 2013).

Toda a preocupação que se percebe hoje em dia a respeito do esgotamento das fontes de água doce no passado ganha sentido e reforço. Se hoje o planeta dispõe de água em relativa abundância, o mesmo não deverá acontecer daqui a cinco décadas, caso não se comece a tratar os recursos hídricos de que se dispõe como um bem finito, fazendo uso racional da água e dedicando-se à preservação ambiental, levando-se em consideração o desperdício provocado pelos usuários (SILVA; MACEDO, 2013).

Barbosa e outros citados por Lima e colaboradores (2013) afirmam que, a disponibilidade de água, em mananciais e nascentes, encontra-se intimamente associada aos sistemas florestais, que vêm sendo intensamente devastados e fragmentados em função da pressão de expansão agrícola, urbana, ou ainda de exploração ilegal. Dentro desse contexto, há uma crescente necessidade de conservação de áreas para melhoria da qualidade e da quantidade do serviço hídrico. Os mananciais tornam-se cada vez mais estratégicos para a sobrevivência e o abastecimento das cidades, mas a pressão urbana tem comprometido a capacidade das áreas produtoras de produzir água em boa qualidade e quantidade. Segundo Souza citado por Matos e Dias (2013), a emergência da temática ambiental na agenda política é um reflexo do agravamento dos problemas ambientais, o desenvolvimento da ecologia como ciência e a percepção da dimensão política da problemática ecológica.

A qualidade das águas dos mananciais usados para abastecimento público tem sido alterada com o crescente processo de urbanização dos



municípios brasileiros. A cada ano, mais pessoas morrem por utilizar e consumir água imprópria, isso afeta a população mais do que todas as formas de violência, incluindo a guerra (ALVES, 2012). A contaminação da água enfraquece ou destrói ecossistemas naturais que sustentam a saúde humana, produção de alimentos e biodiversidade. Apesar de água ser um recurso natural renovável, a qualidade de uma infinidade de recursos hídricos tem sido seriamente comprometida.

A qualidade das águas é afetada, principalmente por serem elas o destino final da maior parte dos resíduos que resultam de toda atividade humana localizada nos solos das bacias hidrográficas. Por isso, a preservação da qualidade da água de um rio deve ser feita preventivamente, por meio da educação e da regularização do uso do solo de cada bacia hidrográfica (BRANCO, 2003). Sabendo-se da importância dos recursos hídricos para todas as atividades econômicas e bem-estar humano e ambiental, medidas vêm sendo adotadas, visando a recuperação e conservação dos recursos hídricos. Tais como: o programa Produtor de Água, que estimula o pagamento por serviços ambientais (PSA); a governança da água pelos Comitês de Bacia, que gerenciam e desenvolvem atividades de educação ambiental e prestação de serviços; a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, que visa organizar e sistematizar as formas de proteção dos recursos hídricos.

Com o crescimento da população, aliado às altas taxas de consumo de água, ao modelo de desenvolvimento adotado e à contaminação dos recursos hídricos pela ação antrópica, ou seja, por efeito da atuação humana, a tendência é de que os recursos hídricos se tornem mais escassos, qualitativa e quantitativamente, caso não haja ações enérgicas visando à melhoria da gestão da oferta e da demanda da água para os diferentes usos. Portanto, manter o abastecimento d'água, não apenas em quantidade, mas também em qualidade, é um grande desafio a ser superado pela sociedade (LOPES et al., 2014).

## 2.2 OZONIZAÇÃO

Tratamentos utilizando poderosos oxidantes estão cada vez mais sendo incorporados nas estações de tratamento de águas. Os POAs possibilitam que o composto não seja apenas transferido de fase, mas destruído e transformado em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos (não tóxicos ou de potencial tóxico inferior), através de reações de degradações que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente os radicais hidroxila (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

Dentre os POAs mais utilizados, o tratamento de água por ozonização vem recebendo destaque devido ao seu elevado potencial para degradar, seja parcialmente ou totalmente, compostos persistentes que não são degradados em sistemas biológicos de tratamento.

A ozonização foi empregada pela primeira vez na França, em Nice, em 1906, e desde então tem sido continuamente utilizada em vários locais do mundo no tratamento de água potável (PAPAGEORGIOU; VOUTSA; PAPADAKIS, 2014). A ozonização tem sido citada na literatura como sendo uma tecnologia de tratamento bastante promissora. Inúmeras aplicações em escala real já podem ser encontradas tanto na área de tratamento de águas de abastecimento como em tratamento de efluentes industriais, geralmente associada a processos biológicos (ANDRIOLLI; MELLA; GUTERRES, 2014).

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 em milhares de sistemas de tratamento (SCHIAVON et al., 2012). A Tabela 1 nos mostra um comparativo entre alguns agentes oxidantes.

O ozônio é produzido naturalmente na estratosfera pela ação fotoquímica dos raios ultravioleta sobre as moléculas de oxigênio. Esses raios, com  $\lambda < 200$  nm, são suficientemente intensos para separar os dois átomos que compõem a molécula de  $O_2$ , produzindo assim o oxigênio atômico. Outra forma de produção natural do ozônio é a que ocorre durante as

tempestades quando há emissão de um relâmpago. A descarga elétrica dissocia a molécula de oxigênio em dois átomos de oxigênio. Estes dois átomos instáveis se combinam com outras moléculas de oxigênio, ficando num menor estado de energia (ROSADO, 2014) formando o ozônio. O gerador de ozônio basicamente reproduz, de forma controlada e eficaz, este fenômeno natural, juntando alta tecnologia na área de materiais à eletroeletrônica avançada. Desta maneira, a geração de ozônio ocorre pelo princípio de descarga elétrica, que acelera elétrons o suficiente para partir através do impacto as ligações da molécula de oxigênio (OZENEBRAS, 2014).

O ozônio é capaz de reagir com uma numerosa classe de compostos orgânicos, devido, principalmente, ao seu elevado potencial de oxidação ( $E_0 = 2,07 \text{ V}$ ), superior ao de compostos reconhecidamente oxidantes, como  $\text{H}_2\text{O}_2$  e o próprio cloro (PAULA, 2014). A ozonização é uma técnica de oxidação química que promove a decomposição completa ou parcial de poluentes orgânicos de difícil degradação. Tais poluentes orgânicos, quando sofrem decomposição, formam  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ; e quando sofrem decomposição parcial são transformados em moléculas menores (menos complexas) (ROSADO, 2014).

Apesar das inúmeras pesquisas, a utilização do ozônio no tratamento de águas e efluentes líquidos ainda não é considerada uma tecnologia consolidada. Dentre as principais limitações destaca-se a baixa solubilidade do ozônio, que diminui a transferência de massa da fase gasosa para a líquida, levando a uma baixa razão entre concentração de ozônio/quantidade de matéria degradada. Além disso, o custo de implementação dos sistemas de ozonização também contribuem para restringir a aplicabilidade do ozônio (NOGUEIRA, 2014).

Outro desafio está na necessidade de um rígido controle da temperatura de reação, pois a solubilidade do ozônio diminui com o aumento da temperatura, e conseqüentemente, a quantidade de ozônio disponível para a reação é reduzida, resultando no decaimento da degradação (JYOTI; PANDIT, 2004).



Estudos relacionados a variação do pH no meio reacional também merece maior atenção. Essa abordagem costuma a mais simples (embora não a mais eficiente) para se obter a geração de radicais hidroxila a partir do ozônio. Geralmente, sob condições ácidas ( $\text{pH} < 4$ ) o mecanismo direto (reação de ozonólise) predomina, acima de  $\text{pH} 10$  ele se torna predominantemente indireto (reações radiculares) (MAHMOUD; FREIRE, 2007). Para águas naturais (superficiais ou subterrâneas) com pH ao redor de 7, ambos mecanismos podem estar presentes, porém outros fatores (como tipo do composto alvo e presença de metais de transição) contribuirão para definir a extensão de cada um deles e é extremamente importante que essas características estejam definidas pelos grupos de pesquisa para a otimização do processo. De modo geral, o uso de metais de transição aumenta a eficiência deste processo, principalmente por meio da geração de espécies radiculares com características fortemente oxidantes e não seletivas.

Os benefícios técnicos da utilização de ozônio no tratamento de água se juntam aos benefícios econômicos. Uma vez que este seja implementado, se mostra mais barato para se operar do que o método com cloro. No entanto, no processo de substituição de uma estação que já utiliza cloro, para uma nova que utilizará ozônio, o custo torna-se elevado. Isso se deve ao fato de que a armazenagem do ozônio é impossível, obrigando que produção seja no local da utilização (BISPO; FLAIBAM, 2016).

### 2.3 OZONIZAÇÃO CATALÍTICA HOMOGÊNEA

A oxidação de compostos orgânicos via ozonização catalítica, foi inicialmente estudada em sistemas homogêneos (ozonização catalítica homogênea), nos quais íons metálicos são utilizados como catalisadores do processo (ASSALIN; DURAN). A literatura reporta que a presença de metais de transição pode aumentar a eficiência da oxidação de uma série de espécies de poluentes orgânicos por ozônio em meio aquoso. Vários metais

de transição podem ser empregados para este fim, destacando-se: Fe, Mn, Ni, Co, Cd, Cu, Ag, Cr e Zn (JYOTI; PANDIT, 2004).

O tipo de metal de transição usado no processo de ozonização assistida e a natureza da matriz a ser remediada influem na velocidade da reação, na seletividade, no consumo de ozônio, na taxa de degradação/mineralização e no mecanismo de reação (PEREIRA, 2014).

É bem estabelecido na literatura que a decomposição do ozônio em meio aquoso, pode ser iniciada, pela presença de íons metálicos. Inúmeros trabalhos relatam a utilização de sais metálicos de diferentes naturezas, no tratamento de água e efluentes por ozônio, resultando em aumento na razão de degradação da carga orgânica e redução no consumo de ozônio (PEREIRA, 2014).

A tecnologia de ozonização catalítica homogênea é capaz de atingir elevadas taxas de mineralização da matéria orgânica em compostos inócuos como CO<sub>2</sub> e água, principalmente em meio ácido, o que não é observado pelo processo de ozonização convencional devido à formação de compostos refratários. Além disso, compostos sequestradores de radicais livres hidroxila como os íons carbonato, por exemplo, não interferem no processo de ozonização catalítico, provavelmente devido à formação do complexo entre o íon metálico e o contaminante, que por fim será oxidado pelo ozônio. Como resultado, os processos catalíticos apresentam maior eficiência de remoção de carga orgânica associado a um menor consumo de ozônio (ASSALIN; DURAN, 2006).

O ferro, que está presente em águas naturais, pode ser prontamente oxidado por ozônio gerando óxidos insolúveis, facilmente removíveis por filtração. Este metal é muito utilizado em processos de ozonização catalítica homogênea. Vale ressaltar que a utilização do Fe (II) nestes processos é restringida a meios ácidos, uma vez que em valores de pH superiores ocorre a precipitação desses íons (ASSALIN; DURAN, 2006).

De uma maneira geral, a aplicação da ozonização catalítica homogênea deve estar associada a alguma técnica de remoção do íon metálico do afluente tratado. O caráter tóxico de determinados metais



pode restringir a aplicação desse tipo de processo. Além disso, a presença de íons, menos preocupantes do ponto de vista toxicológico, como o ferro, pode estar associada a efeitos indesejáveis, como o aparecimento de manchas em roupas, sabor e odor desagradável na água, entre outros (ASSALIN; DURAN, 2006).

#### 2.4 OZONIZAÇÃO CATALÍTICA HETEROGÊNEA

Segundo Moussavi et al. apud Suave, Leme e Moreira (2014), um catalisador pode melhorar as reações de ozonização através de diferentes modos: (i) o ozônio pode reagir com os grupos funcionais presentes na superfície do catalisador e gerar espécies oxidantes mais reativas que o ozônio molecular; (ii) o catalisador pode fornecer uma superfície para a reação do ozônio molecular com o composto alvo; (iii) o catalisador pode adsorver o composto que finalmente, reage com o ozônio dissolvido.

A ozonização catalítica heterogênea tem sido vista como um processo promissor de oxidação avançada na remoção de poluentes das águas residuais industriais e domésticas, bem como das águas para consumo. O tratamento terciário de efluentes através da ozonização catalítica tem recebido constante atenção devido ao seu elevado potencial de oxidação na degradação e mineralização de poluentes orgânicos refratários (FONSECA, 2012). Na ozonização catalítica, o catalisador, com uma superfície heterogênea, aumenta a dissolução do ozônio e age como iniciador da reação de decomposição. Portanto, a eficiência da ozonização catalítica depende, principalmente, da quantidade de catalisador utilizado e de suas propriedades de superfície (LIMA et al., 2013).

Dentre os trabalhos sobre ozonização catalítica, alguns resultados mostram que os óxidos metálicos adsorvem fortemente moléculas de água quando presentes na dispersão aquosa. As moléculas de água podem ionizar em íons  $H^+$  e  $OH^-$ , formando grupos superficiais hidroxilados com os cátions e ânions oxigênio superficiais, respectivamente. De acordo com Zhang e Ma (2008), esses grupos superficiais podem interagir com o  $O_3$  na

interface água/catalisador e o composto orgânico na ozonização catalítica (Figura 1).

Como o ozônio tem características nucleofílicas ou eletrofílicas, como um agente dipolo (LEGUB; LANGLAIS; DORE, 1981), a molécula de ozônio pode combinar-se com os grupos hidroxila superficiais (Etapa A do mecanismo). As espécies combinadas posteriormente decompõem-se para formar  $\text{HO}_2^-$  na superfície (Etapa B). O ânion  $\text{HO}_2^-$  reagiria com outra molécula de ozônio para formar o radical hidroxila ( $\text{HO}\cdot$ ) e  $\text{O}_2\cdot^-$  (Etapa C). O ânion superóxido  $\text{O}_2\cdot^-$  poderia posteriormente reagir com ozônio, que finalmente produziria outro radical hidroxila  $\text{HO}\cdot$  (GUNTEN, 2003). Os sítios superficiais de Fe(III) poderiam adsorver outra molécula de água, que subsequentemente dissociaria-se em grupo hidróxido superficial (Etapa D).

Se os grupos superficiais hidroxila estiverem protonados, diminui a nucleofilicidade dos átomos de oxigênio superficiais e assim a protonação da superfície dificultaria a ligação do ozônio na Etapa A. Por outro lado, a desprotonação dos grupos hidroxila superficiais não pode fornecer o caráter eletrofílico do hidrogênio superficial, o que também prejudicaria o processo proposto, indicando que em pH próximo da neutralidade, ou em pH onde a carga líquida na superfície é zero ( $\text{pH}_{\text{pcz}}$ ), a ozonização catalítica deveria resultar em maior velocidade de decomposição dos compostos orgânicos.

### 3 CONCLUSÃO

O ozônio se decompõe em oxigênio ao destruir as células bacterianas (SNATURAL, 2015). Isso pode soar bom em um primeiro momento já que não há deposição de resíduos. Porém, não podemos esquecer que este tratamento ocorre somente nas estações. Antes de chegar ao consumidor, a água atravessa tubulações velhas e enferrujadas, mantendo o perigo de contaminação sempre iminente, uma vez que todo o ozônio já fora oxidado. Por isso, ainda se considera a introdução de um pouco de cloro ao final do tratamento, a fim de se evitar contaminações futuras (MORAIS, 2006).

Os benefícios técnicos se juntam aos benefícios econômicos. Uma vez implementado, o tratamento utilizando ozônio, se mostra mais barato para se operar do que o método com cloro (BISPO; FLAIBAM, 2016). Existe, porém, uma ressalva: o processo de substituição de uma estação já utilizando cloro, para uma nova utilizando ozônio, tem um custo elevado. Isso se deve, dentre outros fatores, ao fato de que a armazenagem do ozônio é impossível, obrigando que produção seja no local da utilização (BISPO; FLAIBAM, 2016). Esse custo de implantação, no entanto, é pontual, sendo dissolvido ao longo da operação da estação de tratamento. Logo, em longo prazo, o ozônio se posiciona também como uma alternativa mais barata.

Pode-se concluir então, que como alternativa ao cloro, o ozônio se mostrou mais eficaz no combate a bactérias, economicamente viável e mais limpo, uma vez que sua atuação não implica em resíduos na água, como o cloro.

## REFERÊNCIAS

ALVES, José Eustáquio Diniz. Água: um direito de todos os seres vivos. 2012. Disponível em: < <http://www.ecodebate.com.br/2012/05/09/agua-um-direito-de-todos-os-seres-vivos-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/> > Acessado em: Fev. 2016.

ANDRIOLLI, E.; MELLA, B.; GUTERRES, M. A tecnologia de ozonização no tratamento de efluentes de curtume. Florianópolis. 2014.

ASSALIN, Márcia Regina; DURÁN, Nelson. Novas tendências para aplicação de ozônio no tratamento de resíduos: ozonização catalítica. São Paulo. 2006.

BISPO V., FLAIBAM S. Sanasa estuda uso de ozônio para tratamento de água. Disponível em: <http://www.agsolve.com.br/noticia.php?cod=6560> Acessado em: 25 de Fevereiro de 2016.

BRANCO, Samuel Murgel. Água: origem, uso e preservação. 2. ed., São Paulo: Moderna, 2003. 96 p.

CAMATTI, Arthur; MATTIELLO, Kasieli; PINHEIRO, Manuelle Osmarin; FIGUEIREDO, Anelice Maria Banhara. As diferentes formas de tratar um efluente industrial. 2015.



FONSECA, Carla Alexandra Orge. Tertiary treatment of effluents by catalytic ozonation. Porto. 2012.

FREITAS, V. P. Águas: aspectos jurídicos e ambientais. Curitiba: Juruá, 2003.

LÉGUBE, B.; LANGLAIS, B.; DORÉ, M. Reactions of ozone with aromatics in dilute aqueous solution: reactivity and biodegradability of oxidation products. Water Pollution Research and Development. p. 553-570 (1981).

LIMA, A. P. S. et al. Nanopartículas de óxidos de manganês, ferro e cério como catalisadores da ozonização de efluentes de refinaria de petróleo. Florianópolis. 2013.

LOPES, Fernando B et al. Modelagem da qualidade das águas a partir do sensoriamento remoto hiperespectral. Campina Grande, PB. 2014.

MAHMOUD, A.; FREIRE, R. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. Química Nova. 30, p. 198-205 (2007).

MATOS, Fernanda; DIAS, Reinaldo. Governança da água e a gestão dos recursos hídricos: a formação de comitês de bacia no Brasil. 2013.

MORAIS, Anderson de Assis. Uso de ozônio como pré e pós-tratamento de efluentes da indústria de celulose kraft branqueada. Viçosa. 2006.

NOGUEIRA, Maria Rita Chaves. Síntese, caracterização e atividade catalítica de nanopartículas de óxidos de ferro para a ozonização de sulfametoxazol. Florianópolis. 2014.

OZONEBRAS, São Paulo (2014) Disponível em: <http://www.ozonebras.com.br/ozonio/> < Acessado em: Nov/2015.

PAPAGEORGIOU, A.; VOUTSA, D. e PAPADAKIS, N. Occurrence and fate of ozonation by-products at a full-scale drinking water treatment plant. Science of the Total Environment, Grécia, n. 481, p. 392-400, 2014.

PAULA, Luciene Oliveira. Tratamento de água residuária da atividade automotiva por ozonização convencional e catalítica. Uberlândia. 2014.

PEREIRA, Lívia Martins. Tratamento de efluente farmacêutico veterinário por meio de ozonização catalítica homogênea em presença de íons Ferro. Lorena, SP. 2014.

RIBEIRO, Ricardo Biali; ARAÚJO, Aneide Oliveira; TAVARES, Adilson de Lima; CRYSTALINO, Carolina Moura. Impacto da não preservação ambiental no

resultado de uma indústria têxtil da região metropolitana de natal. Blumenau. 2010.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima; MALAFAIA, Guilherme; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. A importância da avaliação do habitat no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos: Uma revisão. Campo Mourão. 2010.

RODRIGUES, Elisângela Garcia Santos. Caracterização e tratamento do efluente de lavagem em empresa de reciclagem de plásticos para fins de reuso. João Pessoa, PB. 2013.

ROSADO, Francisca Gabriela Lopes. Aplicação da ozonização e de processos oxidativos avançados na degradação dos fármacos paracetamol e dipirona presentes em efluentes aquosos simulados. Diamantina, MG. 2014.

SCHIAVON, G. J. et al. Projeto e análise de um sistema gerador de ozônio para remoção de cor de efluente têxtil. 2012.

SILVA, Rômulo Nelson Parentoni; MACEDO, Vinícius Duarte Mafia. Recursos hídricos. Viçosa/MG. 2013.

SNATURAL. Tratamento da água com ozônio. Disponível em: <<http://www.snatural.com.br/Tratamento-Agua-Ozonio.html>> Acessado em: Nov/2015

SUAVE, J.; LEME, L. B.; MOREIRA, R. F. P. M. Catalisadores de óxido de ferro dopados com metais de transição aplicados na ozonização catalítica do corante safira procion. Florianópolis. 2014.

TEIXEIRA, C. P.; JARDIM, A. Processos Oxidativos Avançados – Conceitos Teóricos. Caderno temático, v. 3. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Química – IQ, Laboratório de Química Ambiental – LQA. Campinas, 2004.

VON GUNTEN, U. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. Water Research. 37, p. 1443-1467 (2003).

ZHANG, T.; MA, J. Catalytic ozonation of trace nitrobenzene in water with synthetic goethite. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. 279, p. 82-89 (2008a).

Sobre o(s) autor(es)

\*Acadêmica da Engenharia de Alimentos da Unoesc Videira. E-mail: g.chaves@hotmail.com

\*\*Acadêmica da Engenharia Sanitária e Ambiental da Unoesc Videira. E-mail: brunaverona13@hotmail.com

\*\*\*\*Doutora em Engenharia Química; Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina de Videira; maria.nogueira@unoesc.ed

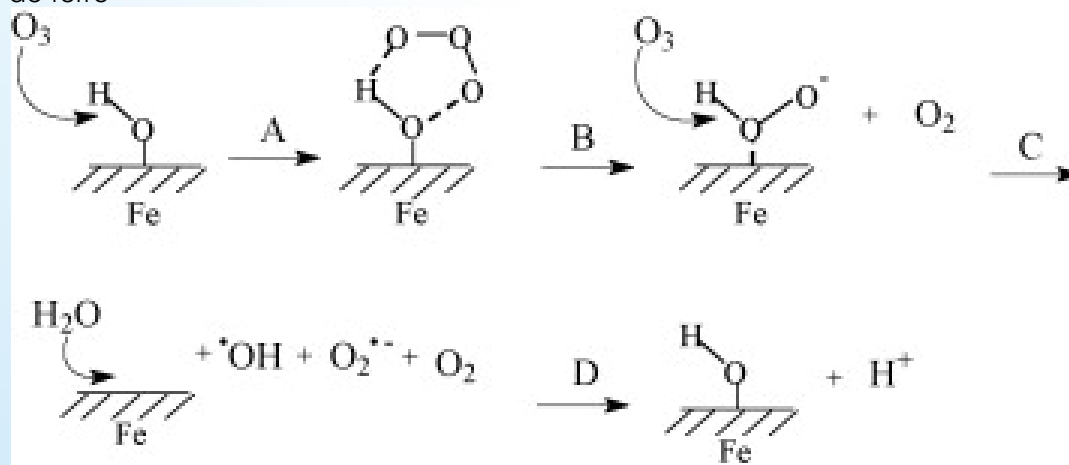
\*\*\*\*Mestre em Ciência e Biotecnologia. Professora na Unoesc Videira. E-mail: marfa.buss@unoesc.edu.br

Tabela 1. Comparação de agentes oxidantes

Agente Oxidante	Potencial de Oxidação (V)	Poder Relativo de Oxidação (V)
Flúor	3,06	2,25
Ozônio	2,07	1,52
Peróxido de Hidrogênio	1,77	1,30
Ácido Hipocloroso	1,49	1,10
Cloro	1,36	1,00

Fonte: Schiavon et al., 2012.

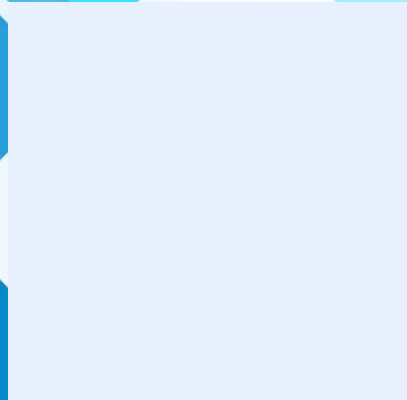
Figura 1 - Esquema do mecanismo proposto para a formação de radicais hidroxila quando o ozônio dissolvido interage com os grupos superficiais hidroxilados de catalisador de óxidos de ferro



Fonte: ZHANG et al, 2008.

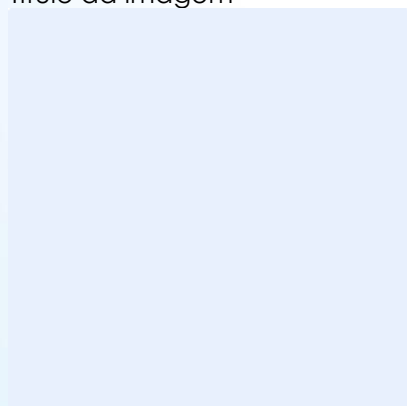
Título da imagem





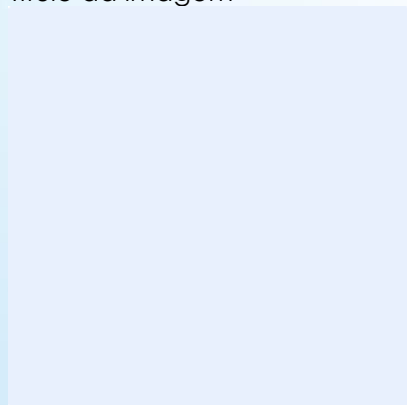
Fonte: Fonte da imagem

Título da imagem



Fonte: Fonte da imagem

Título da imagem



Fonte: Fonte da imagem

Título da imagem



Fonte: Fonte da imagem