

# CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDOS DE FERRO SUPORTADOS EM CARVÃO ATIVADO DESTINADOS À REAÇÃO DE FENTON PARA DEGRADAÇÃO DE POLUENTES ORGÂNICOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Marta Cecilia da Esperança Santos<sup>1</sup>

Natália Matos Silva Pereira<sup>2</sup>

Sirlene Barbosa Lima<sup>3</sup>

Maria Luiza Andrade da Silva<sup>4</sup>

## Resumo

A poluição de águas fluviais e subterrâneas por resíduos da indústria têxtil e de corantes traz inúmeros malefícios para o meio ambiente a curto e longo prazo. Os processos oxidativos avançados (POAs) se mostram como alternativas eficazes no tratamento de efluentes, degradando compostos orgânicos poluentes presentes no meio. A reação de Fenton é um POA que se apresenta como uma opção bastante promissora. No presente trabalho foi feita uma revisão bibliográfica sobre reação de Fenton, utilizando óxido de ferro como catalisador. Também foram abordadas as vantagens de se utilizar uma matriz sólida como suporte para o catalisador, como o carvão ativado, uma vez que é um material bastante poroso e de elevada área superficial específica, o que aumenta a quantidade de locais ativos. Este suporte pode ser sintetizado a partir de diversas fontes, como casca do coco verde, casca de amendoim, grão de café, madeira, lignina, bambu, quitosana, hulha, bagaço de cana de açúcar e sabugo de milho.

**Palavras-chave:** Processos oxidativos avançados; Fenton; Carvão ativado; Óxido de ferro.

## Abstract

Pollution of river and groundwater by waste from the textile and dye industry brings innumerable short-term and long-term environmental damage. Advanced oxidative processes (AOPs) are shown as effective alternatives in the treatment of effluents, degrading organic pollutants present in the environment. Fenton's reaction is an AOP that presents itself as a very promising option. In the present work a bibliographical revision was done on Fenton reaction, using iron oxide as catalyst. The advantages of using a solid matrix to support the catalyst, such as activated carbon, have also been addressed, since it is a very porous material with a high specific surface area, which increases the amount of active sites. This support can be synthesized from several sources, such as green coconut shell, peanut shell, coffee bean, wood, lignin, bamboo, chitosan, coal, sugar cane bagasse and corn cob.

**Keywords:** Advanced oxidative processes; Fenton; Activated carbon; Iron oxide.

---

1 Engenheira Química pela Universidade Salvador, UNIFACS. E-mail: martacesantos1@hotmail.com

2 Engenheira Química pela Universidade Salvador, UNIFACS. E-mail: naty\_matos\_pereria@hotmail.com

3 Pesquisadora do programa de pós-graduação em engenharia química Universidade Federal da Bahia, UFBA. E-mail: sirlenebl@gmail.com

4 Prof. Orientadora da Universidade Salvador, UNIFACS. E-mail: maria.andrade@unifacs.br

## 1 INTRODUÇÃO

O setor industrial exerce uma função de suma relevância para o desenvolvimento socioeconômico de qualquer país. Tendo em vista o grande avanço deste segmento, é essencial que se haja uma preocupação quanto ao impacto ambiental que este tipo de atividade possa vir a acarretar. Sendo assim, há diversos estudos acerca de métodos de tratamento dos efluentes líquidos gerados pela indústria, especialmente pela indústria têxtil, que produz efluentes carregados de corantes (HOLKAR et al., 2016).

Os azo corantes são as principais classes de corantes empregados em diversos setores da indústria têxtil e a carga orgânica que essas substâncias liberam provoca alterações no ecossistema, causadas pelo aumento da turbidez da água (RIBEIRO et al., 2013). Tal fator dificulta a penetração da luz solar, modificando o regime de solubilidade dos gases e a atividade fotossintética (MENDES; DILARRI; PELEGRINI, 2015). O tratamento deste tipo de efluente torna-se mais complicado quando comparado às demais indústrias, uma vez que os efluentes gerados pelo setor têxtil possuem composição bastante heterogênea e com enorme quantidade de material tóxico e recalcitrante, como por exemplo o benzeno, tolueno e etil-benzeno, naftaleno, antraceno e xileno. Essas substâncias causam riscos de eco toxicidade e perigo de bioacumulação, podendo permanecer no meio ambiente por até cinquenta anos (ARAÚJO et al., 2006; MENDES; DILARRI; PELEGRINI, 2015).

Dentre os métodos de tratamento de efluentes pode-se citar os métodos físicos (filtração, floculação e adsorção), por oxidação (oxidação avançada e oxidação química) e biológicos (enzimas e micro-organismos) (HOLKAR et al., 2016). O tratamento por oxidação avançada é aquele que se apresenta como uma alternativa a dificuldade de se tratar um efluente com composição heterogênea, uma vez que os outros processos apresentam alguns inconvenientes neste tipo de tratamento. Por exemplo, os processos biológicos requerem um maior tempo para descoloração-fermentação, já processos físico-químicos podem transferir o poluente de fase ao invés de degradá-lo (NOGUEIRA, 2007). O método de tratamento de efluentes por oxidação avançada caracteriza-se pela formação de radical hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), que atua como agente oxidante, degradando assim as moléculas orgânicas advindas dos corantes têxteis (HOLKAR et al., 2016). Este tipo de tratamento é capaz de transformar, parcial ou totalmente, compostos orgânicos complexos em espécies mais simples como dióxido de carbono, água, ânions inorgânicos ou substâncias que apresentem menos toxicidade e que possam ser mais facilmente degradados por tratamentos comuns. Os processos oxidativos

avançados (POAs) têm sido foco de diversos estudos, em virtude da sua elevada eficiência em processos de degradação de espécies químicas presentes em efluentes industriais. Assim, podem ser utilizados como complemento dos processos de tratamento atuais ou ainda como alternativas a estes (MELO et al., 2009). O objetivo principal desse processo é a geração de espécies intermediárias de alto poder oxidante, com ênfase no radical hidroxila ( $\text{OH}^\bullet$ ) que apresenta baixa seletividade e alta reatividade ( $E^\circ=2,8\text{V}$ ), podendo ser aplicado na oxidação química de diversas substâncias, sejam elas orgânicas ou não (TEIXEIRA, 2002). A grande vantagem destes métodos é que eles promovem a destruição do poluente, convertendo-os em produtos inertes, ao contrário dos processos convencionais, que transferem o poluente para outra fase (PASCOAL et al., 2007).

Existem vários tipos de POAs e dentre eles pode-se citar a fotólise, fotocátalise, foto-Fenton e processo Fenton. (NOGUEIRA, 2007). Na fotólise, o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) é fotolisado por irradiação UV, levando à quebra da ligação O-O da molécula do peróxido e, conseqüentemente, a geração de radicais hidroxila que irão atuar na degradação dos poluentes. A fotocátalise utiliza um catalisador sólido semicondutor, geralmente o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), sobre o qual atua uma tecnologia de foto-indução. Sob radiação UV ou luz visível haverá movimentação de elétrons que induzirá a reações de oxi-redução, formando radicais hidroxila. O processo foto-Fenton consiste no processo Fenton assistido por radiação UV, o que aumenta a produção de radicais hidroxila (SANTOS DE ARAÚJO et al., 2016). O Fenton é um tipo de POA, no qual ocorre a oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$  e a decomposição do peróxido de hidrogênio, como mostra a Equação 1 (BABAEI et al., 2017).

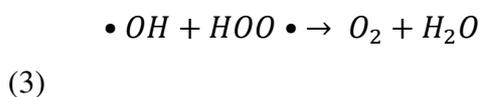
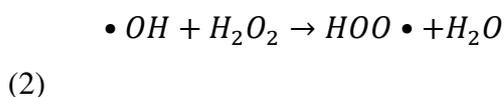


O reagente de Fenton é geralmente um sal de ferro e a formação do radical hidroxila promoverá a oxidação do poluente orgânico complexo, o qual é bastante resistente à degradação biológica (HOLKAR et al., 2016). Com o intuito de aumentar a interação entre as moléculas poluentes e os radicais  $\text{HO}^\bullet$  formados na superfície do catalisador, oferecendo maior velocidade à reação, diversos materiais podem ser empregados como suportes para o ferro, tais como zeólitas, argilas, carvão ativado, nanotubos de carbono, polímeros e óxidos de silício e de alumínio (DE OLIVEIRA, et al., 2016). O carvão ativado se apresenta com uma opção promissora e tem sido bastante empregado, uma vez que é um material carbonáceo, poroso e de elevada área superficial específica. Sua matéria-prima pode ter diversas origens,

como a madeira, casca de amendoim, casca de coco, bagaço da cana-de-açúcar, sabugo de milho, dentre outras (SILVA, et al., 2017). O uso de um suporte é bastante conveniente, uma vez que evita a agregação de nanopartículas e também aumenta o poder de adsorção do óxido de ferro (LIMA et al., 2013).

## 2 REAÇÃO DE FENTON

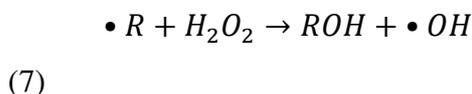
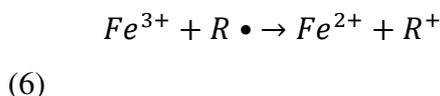
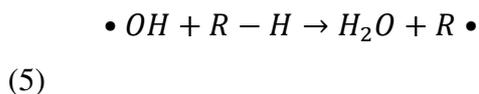
A tecnologia Fenton consiste numa combinação de peróxido de hidrogênio e íon ferroso, na qual o peróxido de hidrogênio funciona como agente oxidante e o óxido de ferro como catalisador. A decomposição do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) ocorre em meio aquoso e em condições ácidas, resultando na formação de radicais hidroxila altamente reativos, e oxidando  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ , como foi mostrado na Equação 1 (EBRAHIEM *et al.*, 2017; DE OLIVEIRA *et al.*, 2016). Esses radicais podem participar de outras reações durante este processo, com o peróxido de hidrogênio e/ou com os radicais hidroperoxila ( $HOO\bullet$ ), como pode ser visto nas Equações 2 e 3 (NOGUEIRA, 2007).



Em compensação, pode haver regeneração de íons ferrosos ( $Fe^{2+}$ ) através de um processo redox. Isso ocorre quando os íons  $Fe^{3+}$  formados reagem com o  $H_2O_2$  e também com os radicais hidroperoxila ( $HOO\bullet$ ). Neste caso, a reação entre  $Fe^{3+}$  e peróxido de hidrogênio é chamada de tipo-Fenton, como evidenciado na Equação 4 (SILVA *et al.*, 2017).



As moléculas orgânicas poluentes (R) podem ser oxidadas pelos radicais hidroxila através de alguns métodos de degradação (Equações 5 a 7). Sendo assim, também podem haver reações dos radicais orgânicos intermediários com  $Fe^{3+}$ , havendo regeneração dos íons ferrosos (Equação 6) (SILVA et al., 2017).



A reação de Fenton pode ser aplicada de forma homogênea ou heterogênea. Ambas são eficazes na degradação de contaminantes orgânicos, porém o Fenton homogêneo produz lamas de hidróxido de ferro no meio e por este motivo é necessário que haja uma etapa de separação após o tratamento. Além disso, para este sistema, é necessário um ajuste de pH entre 2,5 e 3,5, o que torna necessário a neutralização do efluente antes de ser lançado nos cursos d'água, limitando o processo. (YAO et al., 2013). Diferentemente do Fenton homogêneo, o sistema Fenton heterogêneo utiliza catalisadores na fase sólida, que é distinto do contaminante orgânico e dos reagentes e produtos, tornando a separação após o tratamento do efluente mais fácil. Nesse sistema não é necessário manter uma faixa pequena de pH. Diversos materiais sólidos a base de ferro, como por exemplo  $Fe_2O_3$ ,  $ZnFe_2O_4$ ,  $FeOOH$ ,  $CuFe_2O_4$  e  $FeWO_4$ , vêm sendo utilizados como catalisadores heterogêneos na reação de Fenton (DE OLIVEIRA et al., 2016).

O óxido de ferro pode ser utilizado puro ou suportado em uma matriz sólida. O suporte do carvão ativado em um material de alta área superficial é bastante interessante e benéfico, uma vez que essa ação aumenta a quantidade de locais ativos, como também a dispersão e a distribuição de partículas de metal sobre o suporte (LIAKAKOU et al., 2015).

### 3 O CARVÃO ATIVADO COMO SUPORTE PARA ÓXIDO DE FERRO

O carvão ativado (CA) apresenta uma forma microcristalina, não grafítica e é preparado a partir de um material carbonáceo poroso, possuindo assim uma elevada área superficial e contendo uma variedade de grupos funcionais na sua superfície. Como possui uma elevada área superficial específica, atua como excelente adsorvente, podendo desta forma ser utilizado para tratamento de água, controle de emissão de poluentes, catalisadores e suportes catalíticos, entre outras aplicações (RAMOS et al., 2009). O uso do suporte com elevada área superficial específica é bastante interessante e benéfico, uma vez que essa ação

umenta a quantidade de locais ativos, como também a dispersão e a distribuição de partículas de metal sobre a matriz sólida (LIAKAKOU et al., 2015).

Existem diversas fontes promissoras para obtenção do CA, dentre elas a casca de coco verde, casca de amendoim, grão de café, madeira, lignina, bambu, quitosana e hulha. Estes são materiais que possuem alto teor de carbono e sendo assim, podem ser facilmente convertidos em carvão ativado (RAMOS et al., 2009). Por exemplo, Lima e colaboradores (2013) ao analisar quimicamente a casca do coco verde, encontraram uma concentração de 63,043% de carbono. Este teor elevado mostrou que esta biomassa é uma boa escolha para preparar carvões ativados. Da mesma forma, Da Silva e colaboradores (2017) também chegaram a essa conclusão ao analisar a química da casca do amendoim e identificar um teor de 63,43% de carbono nessa biomassa. A madeira também mostrou ser uma excelente fonte para a síntese de carvão ativado, quando Borges e colaboradores (2015) encontraram nesta matéria prima uma quantidade considerável de lignina (32%), que é a principal responsável pela massa de carbono fixo que se obtém após a carbonização. A madeira utilizada em seu estudo foi a madeira de Candeia, que em sua forma in natura apresentou 50,43% de carbono.

A impregnação do carvão ativado com óxidos metálicos fornece uma matriz sólida com maior porosidade alterando suas propriedades de adsorção. Os óxidos de ferro são comumente utilizados como catalisadores heterogêneos em processos de oxidação de poluentes em efluentes líquidos, devido às suas propriedades químicas e ao seu baixo custo (SILVA et al. 2017). Estes óxidos são utilizados na impregnação do carvão ativado, com intuito de melhorar a sua capacidade de oxidação catalítica no processo de degradação de corantes dos efluentes líquidos industriais (CHENG et al., 2017).

Dentre todos os metais, o ferro é o mais utilizado, sendo empregado na construção civil, ciência e tecnologia, entre outros. É o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre e exerceu importante papel no desenvolvimento das civilizações, quando o mesmo era extraído de seus minérios através do carvão formado na queima da madeira. Seus compostos possuem grande importância biológica, pois desempenham funções de transporte de elétrons e oxigênio nos organismos vivos, como também armazenamento de oxigênio, entre outros (LEE, 1999).

Os estados de oxidação mais frequentes e estáveis do ferro são +2 e +3. O estado de oxidação +2 do ferro é um dos mais importantes e são compostos cristalinos conhecidos como sais ferrosos. O estado de oxidação +3 também é essencial na química do ferro, podendo ser obtido pela oxidação dos correspondentes sais de ferro II (LEE, 1999; SILVA et al, 2017). Os

minérios de ferro mais comuns são a hematita,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , a magnetita,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , a limonita,  $\text{FeO}(\text{OH})$ , e a siderita,  $\text{FeCO}_3$  (LEE, 1999). Os óxidos de ferro são compostos bastante empregados em oxidação de contaminantes em efluentes líquidos, atuando como catalisadores heterogêneos (POUR et al., 2014).

#### **4 DEGRADAÇÃO DE POLUENTES ORGÂNICOS ATRAVÉS DA REAÇÃO DE FENTON**

Dentre todos os tipos de processos oxidativos avançados existentes, a reação heterogênea Fenton vem sendo praticada com êxito na degradação de diversos poluentes orgânicos (DE OLIVEIRA et al., 2016). Por exemplo, Rocha e colaboradores (2016), estudaram a degradação dos corantes verde malaquita e azul turquesa, via reação de Fenton, e obtiveram uma redução de cor de 99%. Essa redução foi obtida a um pH 4,0 e temperatura de 25 °C, utilizando o  $\text{Fe}_2\text{SO}_4$  como catalisador. Por outro lado, Santos e colaboradores (2017) encontraram uma redução de cor de 100%, referente ao corante verde malaquita, em um pH entre 2,0 e 3,0 e utilizando também o  $\text{Fe}_2\text{SO}_4$  como catalisador. Utilizando este mesmo catalisador, em um pH 3,0, Salvador, Marcolino Jr. e Peralta-Zamora (2012) degradaram os corantes azul QR 19 e laranja reativo 16, com a remoção de cor praticamente completa em tempo de reação de 15 minutos. Da mesma forma, Da Rocha Santana e colaboradores (2017) utilizaram um tempo de reação de 20 minutos, também catalisada com ferro, e obtiveram remoção dos corantes Azul reativo BF-5G e Vermelho de remazol RB 133% em valores superiores a 98%.

Ultimamente, a utilização de catalisadores baseados em óxido de ferro para degradação de compostos orgânicos, tem sido amplamente estudada, podendo ser empregados na forma pura ou impregnados em matrizes sólidas, como o carvão ativado. Por exemplo, Gonçalves (2009) realizou testes para a degradação do azul de metileno via reação de Fenton utilizando carvão ativado proveniente da casca do café. Os compósitos carvão ativado/ferro foram obtidos em uma única etapa, via pirólise direta da mistura de casca de café com  $\text{FeCl}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , não sendo necessária a etapa de impregnação. Este estudo resultou numa remoção de 82% do azul de metileno utilizando carvão/Fe na proporção de 1/2 e 65% na proporção de 1/1. Por outro lado, Castro (2009) utilizou carvão ativado comercial e conseguiu remover 90% de azul de metileno com compósito carvão/ferro na proporção de 5/1.

Em outro trabalho, Lima e colaboradores (2013) concluíram com seus experimentos que o teor de ferro impregnado no carvão ativado, proveniente da casca do coco verde, estava diretamente ligado à quantidade de corante degradado. Foi demonstrado que essa relação é diretamente proporcional e pode estar relacionado ao aumento da quantidade de sítios ativos. Ou seja, a amostra com maior teor de ferro foi o catalisador mais ativo e a amostra mais pobre em ferro foi o menos ativo. Da mesma forma, Silva e colaboradores (2017) utilizaram a casca do amendoim como matéria prima para a síntese do carvão ativado e concluíram que a capacidade de adsorção dos catalisadores à base de óxido de ferro está relacionada ao aumento de grupos oxigenados da superfície; a atividade de oxidação foi relacionada à quantidade e ao tamanho dos cristais da magnetita.

## 5 CONCLUSÕES

Diante da pesquisa bibliográfica realizada, ficou claro que os processos oxidativos avançados têm recebido grande destaque nas últimas décadas. Os POAs são uma tecnologia emergente, cujo objetivo é degradar poluentes orgânicos em efluentes aquosos. Tais processos vêm sendo amplamente empregados, devido à crescente preocupação com os problemas ambientais causados pelos corantes orgânicos.

A reação de Fenton é um tipo de processo oxidativo avançado que combina peróxido de hidrogênio e cátions de ferro, produzindo radicais hidroxila ( $\text{HO}\bullet$ ) levando à degradação do poluente orgânico. O óxido de ferro utilizado na reação como catalisador pode ser empregado na sua forma pura ou suportado em matrizes sólidas, como o carvão ativado.

O carvão ativado auxilia positivamente no processo catalítico, uma vez que é um material de bastante poroso e de elevada área superficial específica, o que aumenta a quantidade de locais ativos. Este suporte pode ser sintetizado a partir de diversas fontes, como casca do coco verde, casca de amendoim, grão de café, madeira, lignina, bambu, quitosana, hulha, bagaço de cana de açúcar e sabugo de milho.

Dessa forma, pode-se concluir que é bastante interessante que se haja mais pesquisas que envolvam a síntese do carvão ativado para utilização na reação de Fenton. O Brasil possui inúmeras fontes de biomassa lignocelulósica, as quais, na maioria das vezes, são consideradas como lixo pela sociedade e que podem ser utilizadas para síntese de CA. A aplicação deste carvão na reação de Fenton seria bastante benéfico, uma vez que contribuiria para a redução da poluição dos cursos d'água pelos efluentes coloridos gerados pela indústria têxtil.

## REFERÊNCIAS

- ALJEBOREE, Aseel M.; ALSHIRIFI, Abbas N.; ALKAIM, Ayad F. Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon. **Arabian journal of chemistry**, v. 10, p. S3381-S3393, 2017.
- ARAÚJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C.; Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV. **Química Nova**, v. 29, p. 11-14, 2006.
- BABAEI, A. A.; KAKAVANDI, B.; RAFIEE, M.; KALANTARHORMIZI, F.; PURKARAM, I.; AHMADI, E.; ESMAEILI, S.; Comparative treatment of textile wastewater by adsorption, Fenton, UV-Fenton and US-Fenton using magnetic nanoparticles-functionalized carbon (MNPs@C). **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, n. 3513, p. 12, 2017.
- BORGES, Willian Miguel S. et al. Carvão Ativado de Resíduo de Madeira de Candeia: Produção, Caracterização e Avaliação do Potencial Adsorptivo. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1952-1967, 2015.
- CASTRO, Cíntia S. et al. Remoção de compostos orgânicos em água empregando carvão ativado impregnado com óxido de ferro: ação combinada de adsorção e oxidação em presença de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1561-1565, 2009.
- CHENG, S.; ZHANG, L.; MA, A.; XIA, H.; PENG, J.; LI, C.; SHU, J.; Comparison of activated carbon and iron/cerium modified activated carbon to remove methylene blue from wastewater. **Journal of Environmental Sciences**, n. 01117, p. 11, 2017.
- DA ROCHA SANTANA, Rayany Magali et al. Degradation and kinetic study of Reactive blue BF-5G and Remazol red RB 133% dyes using Fenton and photo-Fenton process. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 104-118, 2017.
- DE OLIVEIRA, J. S. et al. Preparação do sistema Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZSM-5 para uso como catalisador na reação foto-Fenton. **Cerâmica**, v. 62, n. 363, p. 281-287, 2018.
- EBRAHIEM, Ebrahiem E.; AL-MAGHRABI, Mohammednoor N.; MOBARKI, Ahmed R. Removal of organic pollutants from industrial wastewater by applying photo-Fenton oxidation technology. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, Sup. 2, p. S1674-S1679, may. 2017
- GONÇALVES, Maraísa et al. Síntese e caracterização de nanopartículas de óxido de ferro suportadas em matriz carbonácea: remoção do corante orgânico azul de metileno em água. **Quim. Nova**, v. 32, n. 7, p. 1723-1726, 2009.
- HOLKAR, C. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**, n. 182, p. 351-366, 2016.
- LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão Concisa**. Tradução 5. ed. Inglesa. São Paulo: Editora Blucher, 1999.

LIKAKAKOU, E. T. et al. K-promoted NiMo catalysts supported on activated carbon for the hydrogenation reaction of CO to higher alcohols: Effect of support and active metal. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 165, p. 296-305, 2015.

LIMA, S. B.; BORGES, S. M. S.; RANGEL, M. C.; MARCHETTI, S. G. Effect of iron content on the catalytic properties of activated carbon-supported magnetite derived from biomass. **J. Braz. Chem. Soc.**, v.24, no.2, p. 344-354, 2013.

MENDES, R.C.; DILARRI, G.; PELEGRINI, R.T. Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente. **Revista Matéria**, v. 20, n. 4, p. 898-908, 2015.

MELO, S. A. S. et al. Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. **Química Nova**, Araraquara, SP, v. 2, n. 1, p. 188-197, 2009.

NOGUEIRA, Raquel Fernandes Pupo et al. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. **Química nova**, v. 30, n. 2, p. 400-408, 2007.

PASCOAL, S. A. et al. Aplicação de radiação UV artificial e solar no tratamento fotocatalítico de efluentes de curtume. **Química Nova**, Campina Grande, v. 30, n. 5, p. 1082-1087, 2007.

POUR, A. N.; HOUSAINDOKH, M.R.; IRANI, M.; SHAHRI, S. M. K. Size dependent studies of Fischer–Tropsch synthesis on iron based catalyst: New kinetic model. **Fuel**, v. 116, p. 787–793, 2014.

RAMOS, Paulize H. et al. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Quim. Nova**, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009.

RIBEIRO, F.W.P.; OLIVEIRA, S.N.; LIMA-NETO, P.; CORREIA, A.N.; MASCARO L.H.; MATOS, R.; SOUZA, E.C.P.; LANZA, M.R.V. Eletrodegradação de ponceau 2R utilizando anodos dimensionalmente estáveis e Ti/Pt. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 85-90, 2013.

ROCHA, Janara Aline et al. Tratamento de um efluente modelo têxtil via reação de fenton. **Holos**, v. 4, p. 25-35, 2016.

SALVADOR, Terezinha; MARCOLINO JR, Luiz H.; PERALTA-ZAMORA, Patricio. Degradação de corantes têxteis e remediação de resíduos de tingimento por processos fenton, foto-fenton e eletro-fenton. **Quim. Nova**, v. 35, n. 5, p. 932-938, 2012.

SANTOS, Emília Maria Alves et al. Reator anaeróbio tipo UASB conjugado com processo oxidativo avançado (POA) do tipo Fenton para remoção de cor e DQO de água residuária sintética de indústria têxtil contendo o corante Verde Malaquita. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, 2017.

SANTOS DE ARAÚJO, Karla et al. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, 2016.

SILVA, L.A.d. et al. Methylene blue oxidation over iron oxide supported on activated carbon derived from peanut hulls. **Catalysis Today**, v. 289, p. 237-248, 2017.

TEIXEIRA, C. P. A. B. **Estudo comparativo de tipos diferentes de Processos Oxidativos Avançados**. 2002. 153p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – São Paulo, 2002.

YAO, Y.; WANG, L.; SUN, L.; ZHU, S.; HUANG, Z.; MAO, Y.; LU, W.; CHEN, W. Efficient removal of dyes using heterogeneous Fenton catalysts based on activated carbon fibers with enhanced activity. **Chemical Engineering Science**, v. 101, p. 424-431, 2013.