


Renata Torres Mattos Paschoalino de Souza
Daniel Matheus da Silva
Ana Cláudia Kasseboehmer
(Orgs.)

O que fazem OS CIENTISTAS

textos de divulgação
científica para o ensino
e a aprendizagem
de Ciências





A divulgação científica tem como objetivo popularizar e democratizar o acesso ao conhecimento científico para quem não está ou ainda não está envolvido ou envolvida com Ciência. Por isso, a divulgação científica e seus recursos podem ser aproveitados para inovar as aulas de Ciências e tornar os processos de ensino e de aprendizagem mais significativos. Nesta obra, o objetivo é destacar os textos de divulgação científica como recurso de ensino e de aprendizagem. O livro inicia com uma discussão sobre as possibilidades e benefícios do uso e da produção de textos de divulgação científica por estudantes da educação básica. Também são apresentados alguns textos que explicam o que diferentes grupos de pesquisa de universidades e institutos de pesquisa públicos do Estado de São Paulo fazem. Esses textos foram produzidos para orientar algumas das atividades de extensão de uma universidade pública. Espera-se que o uso e a produção de textos de divulgação científica contribuam para melhorar a aprendizagem de conceitos científicos e para desenvolver a destreza em pesquisa, leitura e escrita dos estudantes.



O que fazem os cientistas

textos de divulgação científica para o ensino e
a aprendizagem de Ciências

Organizadores

Renata Torres Mattos Paschoalino de Souza

Daniel Matheus da Silva

Ana Cláudia Kasseboehmer



Diagramação: Marcelo A. S. Alves

Capa: Carole Kümmecke - <https://www.conceptualeditora.com/>

O padrão ortográfico e o sistema de citações e referências bibliográficas são prerrogativas de cada autor. Da mesma forma, o conteúdo de cada capítulo é de inteira e exclusiva responsabilidade de seu respectivo autor.



Todos os livros publicados pela Editora Fi estão sob os direitos da Creative Commons 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt_BR



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

SOUZA, Renata Torres Mattos Paschoalino de; SILVA, Daniel Matheus da; KASSEBOEHMER, Ana Cláudia (Orgs.)

O que fazem os cientistas: textos de divulgação científica para o ensino e a aprendizagem de Ciências [recurso eletrônico] / Renata Torres Mattos Paschoalino de Souza; Daniel Matheus da Silva; Ana Cláudia Kasseboehmer (Orgs.) -- Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2022.

145 p.

ISBN - 978-65-5917-405-8

DOI - 10.22350/9786559174058

Disponível em: <http://www.editorafi.org>

1. Ciência; 2. Ensino; 3. Divulgação científica; 4. Estado; 5. Brasil; I. Título.

CDD: 370

Índices para catálogo sistemático:

1. Educação 370

Degradação de compostos orgânicos poluentes: Necessária solução para o meio ambiente

*Kenia Naara Parra
Ana Carolina da Silva
Ana Carolina da Silva Steola
Daniel Matheus da Silva
Taynara Oliveira Silva
Marcos Roberto de Vasconcelos Lanza*

A cana-de-açúcar (Figura 1) é uma planta procedente do sul e sudeste asiático e foi introduzida no Brasil pelos portugueses no início do século XVI, principalmente no Nordeste, o qual se tornou o melhor produtor e exportador de açúcar até o século XVII.



Figura 1: Cana-de-açúcar.

Fonte: Pixabay

No Brasil, as plantações da cana-de-açúcar (Figura 2) ocupam aproximadamente sete milhões de hectares. Elas seguem o modelo latifundiário, no qual muitas terras são colocadas nas mãos de poucos fazendeiros. O Brasil é o maior produtor mundial, seguido da Índia, Tailândia e Austrália. O desenvolvimento da cana de açúcar é mais favorável no clima tropical, o que justifica a grande produção na cidade de Ribeirão Preto, interior de São Paulo.



Figura 2: Plantação de cana-de-açúcar.

Fonte: Pixabay

Quais produtos da cana-de-açúcar você já consumiu ou consome?



Figura 3: Produtos da cana-de-açúcar

Fonte: Pixabay.

A cana-de-açúcar possui diversas aplicações. Em seu estado natural ela é utilizada como pasto consumido pelo gado e pode também ser utilizada na produção da aguardente, açúcar, rapadura, melado, entre outros produtos que estão presentes nas suas casas (Figura 3).

Dentre os produtos oriundos da cana de açúcar, o **etanol**, também chamado de **álcool etílico** possui diversas aplicações: como **biocombustível**, produto para limpeza e também pode servir de matéria prima em indústrias, como na produção de tintas, solventes e vernizes.

Biocombustíveis são combustíveis de origem biológica, não fóssil, sendo fontes de energia renováveis, pois o gás carbônico liberado na combustão do **etanol** é, de modo geral, reutilizado pela planta de cana-de-açúcar no processo de fotossíntese. Por isso, o **etanol** é um **biocombustível**!

Atualmente os estudos com os biocombustíveis no mundo têm atraído a atenção de todos pela qualidade da extração dos mesmos, ganhando importância no mercado como alternativa energética.

Além disso, o cultivo das culturas de cana de açúcar é gerador de emprego e renda no campo, nas indústrias e transportes. Reduz a poluição no planeta e propicia manuseio e armazenamento mais seguros que combustíveis fósseis providos do petróleo.

Entretanto, mesmo com todas essas vantagens e aplicações, também existem desvantagens. A concentração de terras, rendas, condições sub-humanas de trabalho do cortador de cana-de-açúcar, aumento do consumo de água (para irrigação das culturas), redução da biodiversidade e da produção de alimentos, devastação de áreas florestais (Figura 4) e contaminação do solo e da água pelo uso de **pesticidas e herbicidas** (Figuras 5 e 6).



Figura 4: Desmatamento para plantio de cana-de-açúcar.

Fonte: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT161520-18281,00.html>>. Acesso em: 24 abr. 2020.



Figura 5: Poluição do solo por pesticidas.

Fonte: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_82_1211200710211.html>. Acesso em: 24 abr. 2020.



Figura 6: Pulverização aérea em plantações de cana-de-açúcar.

Fonte: Pixabay.

Herbicidas e pesticidas? O que são e para que servem?

Ambos são agroquímicos, ou seja, defensivos agrícolas. Os **herbicidas** são utilizados no controle de ervas daninhas e interferem no crescimento da plantação. Já os **pesticidas** são compostos orgânicos capazes de banir o desenvolvimento de pragas.

Uma vez que o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, também se tornou grande consumidor de herbicidas. De acordo com dados de 2011, entre toda a produção de agroquímicos, 49% são de herbicidas (Figura 7). Após a sua aplicação no cultivo da cana-de-açúcar, o principal destino dos herbicidas são o solo e recursos hídricos como lagos, lagoas, rios e lençóis freáticos.



Figura 7: Participação das Classes na Quantidade Vendida de Defensivos Agrícolas, em Produto Comercial, Brasil, 2011.

Fonte: Elaborada pelos autores com base em: SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA

DEFESA AGRÍCOLA - SINDAG. Dados básicos. São Paulo: SINDAG, 2012. Disponível em:

<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12409>>. Acesso em: 20 abr. 2020

Quais herbicidas você conhece?

Sabe-se que muitas culturas necessitam do uso de herbicidas. Entretanto, normalmente os produtores não se preocupam em conhecê-los melhor e nem ter o mínimo de informações a respeito.

Existem vários herbicidas no mercado, com princípios ativos diferentes e específicas indicações de uso. Para ter uma ideia, a Tabela 1 mostra vários herbicidas que podem ser empregados para o controle de plantas daninhas da cana-de-açúcar.

Princípio ativo	Dose de ingrediente ativo/ha (Kg)	Modo de aplicação	Grupo controlado	Observações
2,4 D	0,40 - 0,72	Pós	Latifoliadas	
Acetochlor	1,80 - 3,60	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Ametrina	2,00 - 4,00	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Ametrina + 2,4 D	0,21 + 0,29	Pós, pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	Controla efetivo em pós-emergente apenas sobre as latifoliadas
Ametrina + Clamazone	2,50 - 3,00	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Ametrina + Diuron	(0,62 - 1,244) + (0,96 - 1,92)	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Clomazone	0,50	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Diuron	1,60 - 3,2	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Diuron + Hexazione	0,4 - 0,5 + 0,06 - 0,1	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Diuron + MSMA	0,140 - 0,360	Pós	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Diuron + Terbutiuron	2,10 - 2,80	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Glyphosate	0,180 - 2,16	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Metolachlor	2,88 - 3,84	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	

Metribuzim	0,72	Pré	Latifoliadas	
Halosulfuron	0,75	Pós	Cyperaceas	A cyperacea tem que estar no estado de pré-floração no momento da aplicação
Imazapyr	0,250	Pré	Gramíneas e latifoliadas e cyperaceas	
Isoxaflutole	0,750	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Oxyfluorfen	0,240	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	
Sulfosate	0,480	Pós	Gramíneas e latifoliadas anuais	Utilizados para canaviais ou aplicações dirigidas
Sulfentrazone	1,20 – 1,60	Pré	Gramíneas anuais e perenes e cyperaceas	Apresenta controle efetivo sobre tiririca (Cyperus rotundus)
Terbutiuron	0,50 – 0,80	Pré	Gramíneas e latifoliadas anuais	

Tabela 1: Herbicidas utilizados para controlar as plantas daninhas da cana-de-açúcar, com o manejo tradicional de queima da palhada.

Fonte: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_52_711200516718.html> Acesso em: 21 abr. 2020.

Dentre os herbicidas da Tabela 1, o Diuron, Hexazinona e **Terbutiuron** são muito empregados na cana-de-açúcar, inclusive em misturas com diferentes proporções dos três.

O **herbicida Terbutiuron**, conhecido pela sigla **TBH** é utilizado em aplicações denominadas de pré e pós-emergência, ou seja, na prevenção e controle das principais espécies infestantes da cultura. Sua fórmula estrutural e a imagem do produto comercial estão mostradas nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

O Terbutiuron é um herbicida derivado da uréia e foi introduzido no Brasil em 1974 pela empresa *Eli Lilly and Co*, agora chamada *Dow Elanco*.

O TBH apresenta boa seletividade à cultura, controle de espécies de grande relevância, alta solubilidade, facilitando sua “mobilidade” no solo e elevada persistência, com meia vida de 12 a 15 meses. A quantidade na aplicação varia de acordo com as características físicas do solo.

Então quer dizer que o **TBH** é um **herbicida** muito bom, não é?

Depende do ponto de vista! Para o caso da prevenção e controle de espécies infestantes ele é bom e cumpre sua função, mas pelo fato de ser persistente e apresentar alta mobilidade no solo pode ser prejudicial ao meio ambiente, agindo em outras plantações, corpos d’água e no próprio solo, o que consequentemente tem efeitos sobre a fauna, flora e nos humanos!

Uma vez em contato com a natureza o TBH é persistente e móvel, podendo contaminar o solo e os reservatórios de água. De acordo com a ANVISA, é um herbicida de classificação **toxicológica II - altamente tóxico**.



Figura 9: Herbicida Combine 500 SC com princípio ativo o TBH.

Fonte: < <http://www.agroquima.com.br/produto/combine/154> >. Acesso em: 21 abr. 2020.

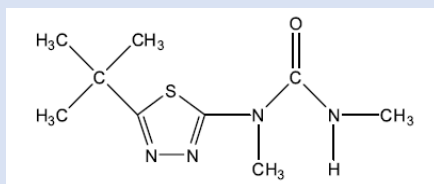


Figura 8: Fórmula estrutural do herbicida Terbutiuron (TBH).

Fonte: ALVES, S.A.; FERREIRA, T.C.R.; LANZA, M.R.V. Oxidação eletroquímica do herbicida tebutiuron utilizando eletrodo do tipo DSA. **Química Nova**, São Carlos, v. 35, n. 10, p. 1981-1984, ago./2012.

Hoje em dia a produção de cana-de-açúcar é uma fonte de renda muito importante para o Brasil. Porém, essa atividade causa vários danos para o meio ambiente. Será que existe alguma forma de controlar esses efeitos?

Você sabia que existem várias pesquisas nessa área e uma delas está na Universidade de São Paulo - USP?



É o caso do Grupo de Processos Eletroquímicos e Ambientais – GPEA do Instituto de Química de São Carlos coordenado pelo Professor Doutor Marcos Roberto de Vasconcelos Lanza.

O GPEA realiza estudos envolvendo **corantes**, produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais. Pode-se citar alguns exemplos de produtos que estão presentes no seu cotidiano e são estudados pelo grupo: o corante reativo azul 19, utilizado em indústrias têxteis para coloração dos tecidos; o paracetamol, muito receitado por médicos para alívio da dor e febre; dipirona sódica, é um fármaco muito consumido pela população; a Hexazinona e Diuron que, como vimos anteriormente e assim como o TBH, são herbicidas utilizados na plantação da cana-de-açúcar.

Corantes são substâncias que aplicadas em materiais ocasionam o tingimento, ou seja, dão cor. São solúveis e mantêm a transparência do objeto que é aplicado. Usados na indústria têxtil, artefatos de couro, alimentos, cosméticos, tintas e plásticos.



Você certamente já ouviu falar ou fez uso de algum desses produtos citados. Mas já passou pela sua cabeça que esses produtos, amplamente utilizados pelo ser humano, podem causar grandes problemas ambientais e a saúde?

Perguntar sobre a semelhança entre um pesticida, um fármaco e um corante, poderia parecer uma charada, mas a relação entre eles é bem simples e muito impactante.

De modo geral, produtos como **fármacos**, **corantes** e **defensivos agrícolas** contêm **compostos orgânicos** que são desenvolvidos para serem persistentes e conservarem suas propriedades químicas a fim de cumprirem sua função, que pode ser: tratar doenças, aliviar a dor, dar cor a tecidos, casas e carros, controlar ervas daninhas ou pragas, entre outras. Desse modo esses compostos não são biodegradáveis e podem apresentar alta mobilidade no ambiente.

Por serem assim, **tão resistentes a biodegradação**, as etapas rotineiras envolvidas no tratamento convencional de água e esgoto das cidades não removem completamente essas substâncias que, além de persistirem no ambiente, também podem causar problemas aos animais e, inclusive, aos humanos! Por isso, dentro da própria indústria produtora desses herbicidas, todo o efluente contaminado deve ser tratado por um processo que realmente faça efeito. Além disso, depois dos herbicidas serem aplicados nas plantações, eles entram em contato com o solo e por sua vez, nos recursos hídricos. Para serem eliminados da natureza precisam de um tratamento alternativo, e assim, não alteram o equilíbrio ecológico.

Você sabia?

É de extrema importância que o descarte correto das embalagens de agrotóxicos seja realizado após sua utilização. Segundo a lei federal nº 9.974, que entrou em vigor no dia 6 de junho de 2000, alterando a lei nº 7.802 de 11 de julho de 1989, e que foi regulamentada pelo decreto nº 4.074 de 4 de janeiro de 2002, isso deve ser feito para que sejam minimizados os problemas tanto de contaminação do meio ambiente quanto os de risco para a saúde das pessoas.

A partir da data da compra do agrotóxico, o produtor tem o prazo de um ano para realizar a devolução das embalagens em unidades de recebimento credenciadas. Para isso, ele deve manter as mesmas previamente descontaminadas, em local coberto,



ventilado e abrigado da chuva. Também é necessário guardar a receita agrônômica e a nota fiscal de compra.

A descontaminação e o manuseio devem ser realizados de acordo com os tipos de embalagem, que podem ser laváveis (contêm produtos que devem ser diluídos em água) e não laváveis; contaminadas (embalagens que entram em contato direto com o agrotóxico) e não contaminadas (embalagens que não entram em contato direto com o agrotóxico, como as caixas de papelão usadas para o seu transporte, por exemplo).

O que faz então, o GPEA, coordenado pelo Professor Doutor Marcos Lanza, para amenizar esses problemas? Você já ouviu falar em degradação de compostos orgânicos poluentes?

Na área da Química, a degradação pode ser entendida como um conjunto de reações capazes de romper uma ou várias ligações químicas de uma molécula produzindo outras moléculas que sejam menos nocivas ou até completamente inofensivas. Assim, substâncias nocivas ao meio ambiente podem ser transformadas em outras que prejudicam menos a natureza a partir de processos de degradação!

Existem diferentes processos que podem ser utilizados para degradar um composto orgânico poluente e o GPEA tem estudado vários! O objetivo é degradar os poluentes que não são completamente removidos pelo tratamento de água convencional. Exemplos desses tratamentos que podem ser considerados como tratamentos alternativos, são os tratamentos eletroquímicos, fotoquímicos, eletroquímicos fotoassistidos e **processos oxidativos avançados**.

Os **processos oxidativos avançados**, mais conhecidos pela sigla POA, são processos capazes de transformar compostos orgânicos considerados poluentes em compostos inofensivos como gás carbônico, água e compostos inorgânicos. Para que essa transformação aconteça é necessário que o poluente entre em contato com espécies altamente oxidantes, como os radicais hidroxila.

O POA é um processo limpo e não seletivo, pois os radicais hidroxila não requerem reagentes tóxicos para serem gerados e, apesar de possuírem tempo de vida muito curto, podem degradar inúmeros poluentes independentemente da presença de outras substâncias. Além disso, os radicais hidroxila podem ser formados de várias formas, como a partir do ozônio, peróxido de hidrogênio (água oxigenada), semicondutores, irradiação ultravioleta (UV), entre outros.

Vantagens de usar os processos oxidativos avançados:

- Transformam produtos não biodegradáveis em biodegradáveis;
- Transformam moléculas complexas de poluentes em água, gás carbônico e compostos inorgânicos;
- Tem forte poder oxidante;
- Não necessitam pós-tratamento;
- Consomem menos energia;
- Possibilitam tratamento *in situ*, ou seja, no mesmo meio reacional, à medida que os radicais hidroxila são gerados, também são consumidos.

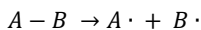
Bom, os radicais hidroxila são muito importantes, mas o que são radicais e reações radicalares?

Espécies com elétrons desemparelhados são chamados de **radicais** e estão envolvidas na química da combustão, envelhecimento, doenças, bem como nas reações relacionadas com a destruição da camada de ozônio e a síntese de produtos que melhoram seu dia-a-dia. Até parte do oxigênio que respiramos se transforma em radicais. Uma boa parte da economia mundial é influenciada pelos radicais, desde as reações para produção de polímeros até ao princípio de ação de fármacos!

As **reações radicalares** ocorrem quando há a quebra de ligações covalentes entre átomos causada pelo fornecimento de energia à ligação, conhecida como quebra homolítica. Cada um dos produtos da reação fica com um elétron do par compartilhado, formando assim, os chamados

radicais. A energia fornecida para que esse tipo de reação ocorra é na forma de calor ou luz.

Ex:



Onde:

- Os pontos representam os elétrons desemparelhados
- $A - B$ é o reagente
- $A \cdot$ e $B \cdot$ são os produtos radiculares (possuem elétrons desemparelhados)

Quase todos os radicais são altamente reativos e possuem tempo de vida curto, sendo que o **tempo de meia-vida ($T_{1/2}$)** vai de minutos a nano segundos.

Tempo de meia-vida ($T_{1/2}$): é o intervalo de tempo em que uma amostra de determinado elemento reduz à metade

Quando os radicais livres colidem com outras moléculas, tendem a reagir de modo que ocorra o emparelhamento do seu elétron desemparelhado. Na maioria das vezes em que um radical reage, gera outro radical intermediário como produto dessa reação. Posteriormente, formam-se outros radicais que também poderão reagir. Esse tipo de fenômeno é chamado de **reação em cadeia**.

Como em qualquer outra situação, as reações radiculares também podem ser maléficas, como é o caso da reação entre o ozônio e os clorofluorocarbonetos, conhecidos como CFCs ou fréons, já utilizados na refrigeração e como solventes e propelentes nas latas de aerossóis. No ano de 1985, cientistas descobriram um buraco na camada de ozônio sobre a Antártida e posteriormente muitos estudos indicaram que o radical cloro é um dos principais causadores da formação desse buraco. Com o passar dos anos, esse buraco tem aumentado, gerando muita preocupação, pois mais raios UV atingirão a superfície da Terra.

Como acontecem as reações radiculares em cadeia que ocorrem na estratosfera:

Em torno de 25 km de altitude, especificamente na estratosfera, encontra-se a tão famosa camada de ozônio. Nessa altura, a incidência de luz UV é muito alta, fazendo com que ocorra a conversão de oxigênio diatômico (O_2) em ozônio (O_3).

Etapas 1: $O_2 + \text{luz UV} \rightarrow O + O$

Etapas 2: $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M + \text{calor}$

Sendo M uma partícula qualquer que absorva parte da energia liberada na segunda etapa.

O ozônio criado na segunda etapa pode reagir com a luz UV:

Etapas 3: $O_3 + \text{luz UV} \rightarrow O_2 + O + \text{calor}$

O oxigênio formado nessa etapa pode provocar uma repetição da etapa 2, e assim por diante, caracterizando a reação em cadeia. Por causa dessas reações, a luz UV, altamente energética, é convertida em calor, e assim, não chega à superfície.

Que diferença isso faz na sua vida?

Essas reações são extremamente importantes para a vida na Terra, pois esse ciclo protege o planeta do excesso de radiação que é destrutiva para os organismos vivos. Um pequeno aumento na incidência dessa radiação sobre a superfície terrestre provocaria um forte crescimento nos casos de câncer de pele, além de outros problemas.

Quando os CFCs chegam à estratosfera, a luz UV provoca a quebra da ligação C-Cl, liberando um átomo de cloro:

Etapas 1: $CF_2Cl_2 + \text{luz UV} \rightarrow CF_2Cl\cdot + Cl\cdot$

Por isso, o átomo de cloro gerado é o átomo responsável pelo processo de destruição, podendo um único átomo de cloro iniciar a reação em cadeia e destruir milhares de moléculas de ozônio.

Etapas 2: $Cl\cdot + O_3 \rightarrow ClO\cdot + O_2$

Note que o óxido de cloro ($\text{ClO}\cdot$) formado na etapa 2 reage com o radical oxigênio, formando um novamente o radical cloro e então, esse radical volta a reagir com outra molécula de ozônio, gerando mais $\text{ClO}\cdot$ e criando um ciclo.

Etapa 3: $\text{ClO}\cdot + \text{O} \rightarrow \text{O}_2 + \text{Cl}\cdot$

Pensando nesse problema global, foi criado o “protocolo de Montreal” onde muitos países se comprometeram a reduzir a produção e consumo dos CFCs. Em 1996, os países industrializados cessaram a produção e mais de 120 países já assinaram esse protocolo.

Agora, lembre-se do composto orgânico poluente, o TBH. Sabe-se que esse composto é muito utilizado pelos agricultores no plantio de cana-de-açúcar devido a sua capacidade de eliminar, controlar ou prevenir a ação de espécies indesejadas como bactérias, fungo e ervas daninha. Porém, ele pode afetar cadeias biológicas, provocar danos ao sistema respiratório e gastrointestinal, câncer, problemas no desenvolvimento fetal, além de outros problemas na fauna e flora.

Pensando em todos esses danos, os pesquisadores do [GPEA da USP](#) pesquisaram formas de degradar esses compostos após terem sido utilizados na agricultura. Por meio de pesquisas, o grupo mostrou que os processos oxidativos avançados são possíveis soluções para degradação desse herbicida!

Os processos de degradação são estudados em meio aquoso em escala de laboratório. Ou seja, em volumes bem reduzidos quando comparados aos volumes de lagos ou lençóis de água, por exemplo. Inicialmente, são produzidas estratégias para se produzir os radicais hidroxila $\cdot\text{OH}$ devido ao fato de terem alto poder oxidante e tempo de vida curto, tornando possível assim a oxidação de compostos orgânicos. A geração pode ser proveniente de oxidantes como ozônio O_3 e o peróxido de hidrogênio, também conhecida por água oxigenada: H_2O_2 .

Etapas da reação:

A primeira etapa denominada fotólise nada mais é que a irradiação de luz UV no peróxido de hidrogênio que provoca a quebra homolítica da molécula gerando dois radicais hidroxila. Essa é a etapa de iniciação!

Etapas 1: $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{luz UV} \rightarrow 2 \cdot\text{OH}$ (fotólise do H_2O_2 com formação do radical hidroxila)

Os radicais formados reagem com o composto orgânico poluente presente no meio, como o TBH (Figura 9), por exemplo, quebrando ligações e formando novas moléculas com massa menor (etapa de propagação - etapa 2).

Esse composto orgânico possui estrutura complexa e para facilitar a compreensão é representado genericamente como RH, podendo ser um herbicida, corante ou fármaco.

Na etapa 3 além da formação do composto orgânico oxidado um dos produtos é o próprio radical hidroxila. E o que isso significa? Significa que ele é novamente gerado e dará continuidade a reação degradando mais compostos orgânicos, assim como nas reações radicalares descritas anteriormente. Essa é a grande vantagem das reações radicalares, pois não é necessário repor reagente continuamente, tornando o processo mais econômico!

As etapas 2 e 3 ocorrem repetidamente (reação em cadeia) até que não seja mais possível quebrar o composto orgânico. Nesse caso, dizemos que ocorreu a mineralização, ou seja, o poluente pode ser completamente oxidado até formarem gás carbônico, água e íons inorgânicos.

Etapa 2: $\text{RH (composto orgânico genérico)} + \cdot\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{R}\cdot$
(radical orgânico)

Etapa 3: $\text{R}\cdot + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{ROH (produto oxidado, composto orgânico oxidado)} + \cdot\text{OH}$

Mas você acha que essas reações sempre são conduzidas até a completa oxidação sem nenhum empecilho? A resposta é não! Paralelamente às reações descritas acima, outras podem acontecer e consumir reagentes como os radicais hidroxila e assim diminuir a eficiência do processo. Uma das reações paralelas possíveis é a recombinação dos radicais hidroxila e formação de peróxido de hidrogênio, como mostrado na etapa 4.

Etapa 4: $2 \cdot\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$

Essa seria a etapa de terminação do processo, no qual a geração de radicais é interrompida e as reações em cadeias cessam. É por isso que o grupo de pesquisa também estuda fatores internos como pH, temperatura e concentração de H_2O_2 no meio reacional, com a finalidade de diminuir ao máximo possível fatores e reações interferentes, aumentar a eficiência da degradação e economizar tempo e reagentes.

Achou interessante? Então imagine o seguinte: a maioria dos estudos de degradação de compostos orgânicos poluentes que utilizam o peróxido de hidrogênio como agente oxidante. Ele é adicionado ao meio reacional em diferentes concentrações e, a partir disso, é avaliada a eficiência do processo. Já nos estudos do Professor Doutor Marcos Lanza e seu grupo de pesquisa GPEA, o peróxido de hidrogênio não precisa ser acrescentado, porque ele é gerado no próprio meio reacional, chamado de geração *in situ*.



E quais são as vantagens disso?

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é um reagente altamente oxidante, ou seja, sua manipulação requer cuidados com a segurança para se evitar riscos de queimaduras e explosões.

Imagine os riscos ao comprar esse reagente, transportá-lo e manuseá-lo no laboratório. Assim, produzi-lo em laboratório, no próprio meio reacional e nas proporções necessárias, para ser utilizado simultaneamente é um grande passo para o desenvolvimento de técnicas seguras e econômicas, objetivo do GPEA!

As pesquisas do Professor Doutor Marcos Lanza empregando os processos oxidativos avançados e outras técnicas de degradação, tiveram início há mais de 10 anos. Já alcançaram ótimos resultados e ainda enfrentam muitos desafios envolvendo estudos de diferentes formas de se produzir os radicais hidroxila, diferentes volumes e concentração do poluente a ser degradado, diferentes substâncias que podem estar presentes no meio e afetar as reações, assim como diferentes poluentes, pois eles também podem ser diversificados, já que o TBH é apenas mais um poluente entre tantos!

Para cada teste, comparam-se os resultados obtidos com os teóricos, analisando-os cautelosamente. Esses resultados são frequentemente apresentados e discutidos com outros pesquisadores da mesma área de degradação de compostos poluentes tanto do Brasil quanto do exterior, em congressos e também em jornais e revistas científicas.

Uma das maiores dificuldades do grupo está no investimento nas pesquisas que acaba por limitar os avanços, uma vez que realizar experimentos com poluentes no laboratório pode ser diferente de realizar em amostras e volumes reais. É pensando nisso que futuramente o GPEA começará a tratar efluentes reais de indústrias de pesticidas, fármacos, corantes e agrotóxicos, além de resíduos hospitalares e de fazendas (que possuem alta concentração e variedade de fármacos poluentes como os antibióticos). Por enquanto o efluente é simulado, ou seja, coloca-se o composto poluente escolhido – corante, fármaco ou defensivo agrícola – nas concentrações desejadas e realiza-se a degradação. A outra ideia é começar a tratar efluentes com contaminantes desconhecidos e analisar se podem ser degradados e como isso ocorre.

É um trabalho árduo, mas com certeza é muito gratificante!

Espera-se que com esse texto você tenha aprendido mais sobre o Grupo de Processos Eletroquímicos e Ambientais (GPEA) do Instituto de

Química de São Carlos e, mais especificamente, sobre os processos oxidativos avançados (POA)!

Faça sua parte!



Como você poderia contribuir com essas pesquisas?

De várias formas! Enviando, por exemplo, embalagens de medicamentos ou agrotóxicos para pontos de coleta especializados da sua cidade antes que entrem em contato com o meio ambiente.

Você também pode ajudar divulgando para sua família e amigos a importância do consumo e do descarte consciente dessas embalagens e sobre a importância das pesquisas científicas nessa área!

Estude Química! Compreenda a importância dessa área do conhecimento para o desenvolvimento e saiba que você ainda pode participar de grupos de pesquisas como o GPEA.

De qualquer forma, sua contribuição será bem-vinda e o meio ambiente agradece!

O texto contém:

Conceitos Químicos: Processos Oxidativos Avançados (POA); Radicais; Reações radiculares.

Competências e Habilidades BNCC

Competência Específica 1 - (EM13CNT101)

Competências e Habilidades ENEM

Competência de área 1 – H2; H3; H4

Referências

ALVES, S.A.; FERREIRA, T.C.R.; LANZA, M.R.V. Oxidação eletroquímica do herbicida tebutiuron utilizando eletrodo do tipo DSA. **Química Nova**, São Carlos, v. 35, n. 10, p. 1981-1984, 2012.

ATKINS, P.W.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. p. 1-924.

BRASIL ESCOLA. **Degradação do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://monografias.brasilecola.com/biologia/a-degradacao-meio-ambiente.htm>. Acesso em: 24 abr. 2020.

CENTRO DE PRÁTICAS ESPORTIVAS USP. **Radicais livres**. Disponível em: <http://www.cepe.usp.br/site/?q=dicas/2010/11/19>. Acesso em: 24 abr. 2020.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA. **Corantes e pigmentos**. Disponível em: http://www.crq4.org.br/quimicaviva_corantespigmentos. Acesso em: 24 abr. 2020.

Desmatamento para plantio de cana-de-açúcar. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT161520-18281,00.html>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

RIBEIRO, F.W.P. et al. Eletrodegradação de Ponceau 2R utilizando ânodos dimensionalmente estáveis e Ti/Pt. **Química Nova**, São Carlos, v. 36, n. 1, p. 85-90, nov./2012.

CRISAUDE. **Farmacologia: Diclofenaco**. Disponível em: <http://www.criasaude.com.br/N4143/medicamentos/diclofenaco.html>. Acesso em: 24 abr. 2020.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 523-530, 2003.

EMBRAPA. **Impactos causados pelo plantio da cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT1.html>. Acesso em: 24 abr. 2020.

GRUPO SINAGRO. **Descarte de Embalagens**. Disponível em: <http://www.gruposinagro.com.br/descarte-de-embalagens.php>. Acesso em: 24 abr. 2020.

GUIMARÃES, G. L. Impactos ecológicos do uso de herbicidas ao meio ambiente.. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 12, p. 159-180, 1987.

Herbicida Combine 500 SC com princípio ativo o TBH. Disponível em: <http://www.agroquima.com.br/produto/combine/154>>. Acesso em: 21 abr. 2020.

Herbicidas utilizados para controlar as plantas daninhas da cana-de-açúcar, com o manejo tradicional de queima da palhada. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia>.

embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_52_711200516718.html.>

Acesso em: 21 abr. 2020.

INFOESCOLA. **Farmacologia.** Disponível em: <https://www.infoescola.com/farmacologia/dipirona>. Acesso em: 24 abr. 2020.

INFOESCOLA. **Pesticidas.** Disponível em: <http://www.infoescola.com/agricultura/pesticidas>. Acesso em: 24 abr. 2020.

INFOESCOLA. **Radicais Livres.** Disponível em: <https://www.infoescola.com/bioquimica/radicais-livres/>. Acesso em: 24 abr. 2020.

INFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS. **Perspectivas e impactos da cultura de cana-de-açúcar no Brasil.** Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Cana/Index.htm. Acesso em: 24 abr. 2020.

INSTITUTO NCB. **Elétrons.** Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque/920-eletrons.html>. Acesso em: 24 abr. 2020.

PARAQUAT. **Ação dos herbicidas.** Disponível em: <https://paraquat.com/pt-br/fatos/modo-de-acao-como-os-herbicidas-funcionam>. Acesso em: 24 abr. 2020.

Participação das Classes na Quantidade Vendida de Defensivos Agrícolas, em Produto Comercial, Brasil, 2011. Elaborada pelos autores com base em: SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA - SINDAG. Dados básicos. São Paulo: SINDAG, 2012. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12409>>. Acesso em: 20 abr. 2020

Poluição do solo por pesticidas. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_82_1211200710211.html>. Acesso em: 24 abr. 2020.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. **Legislação sobre uso e descarte de embalagens.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9974.htm. Acesso em: 24 abr. 2020.

RIBEIRO, F.W.P. *et al.* Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. **Química Nova**, Araraquara, v. 30, n. 3, p. 688-694, 2007.

ROCHA, R.S. *et al.* Desenvolvimento e avaliação de eletrodos de difusão gasosa (EDG) para geração de H_2O_2 in situ e sua aplicação na degradação do corante reativo azul 19. **Química Nova**, São Carlos, v. 35, n. 10, p. 1961-1968, 2012.

CARDOSO, R. D. *et al.* Índice de desenvolvimento do setor externo sucroalcooleiro brasileiro: uma análise de 1999 a 2007. **Revista de economia e agronegócio**, Toledo, v. 7, n. 3, p. 337-362, 2009.

SOLOMONS, T.W.G., Fryhle, C.B. **Vantagens e desvantagens do uso de biocombustíveis**. 1. ed. Rio de Janeiro: Química Orgânica, 2020.

UNICA. **Mapa de produção**. Disponível em: <http://unica.com.br/mapa-da-producao>. Acesso em: 24 abr. 2020.

UNICAMP. **Processos Oxidativos Avançados**. Disponível em: <http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno3.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2020.