

Ano 89 Nº 771 2º semestre de 2021
ISSN: 23581697



Edição Eletrônica 29 do Nº 771

Revista de Química Industrial

SEGURANÇA QUÍMICA

NOVAMENTE EM FOCO



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE QUÍMICA

Eventos 2022



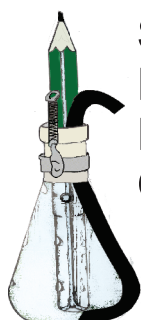
Encontro Nacional de Química e Sustentabilidade

EVENTO HÍBRIDO

5 e 6 de abril de 2022

Centro de Eventos Hotel Regina

Rio de Janeiro



Simpósio
Brasileiro de
Educação
Química

IMPEQUI

EVENTO

100% ON-LINE

10 a 12 de agosto de 2022



EVENTO

100% ON-LINE

21 e 22 de setembro de 2022



CBQ

Congresso Brasileiro
de Química

EVENTO PRESENCIAL

Paralelo ao 35º CLAQ

7 a 11 de novembro de 2022

Rio de Janeiro

Informações: www.abq.org.br

Sumário

1 ➤ **Sumário**

10.1 ➤ **Caderno de Química Verde**

2 ➤ **Expediente**

11 ➤ **Pioneiros da Química**

Oswaldo de Almeida Costa
Álvaro de Bittencourt Carvalho
Archimedes Pereira Guimarães
Djalma Hasselmann
Carlos Ernesto Júlio Lohmann

3 ➤ **Editorial**

4 ➤ **Capa**

*Segurança Química
novamente em foco*

18 ➤ **Aconteceu**

*53ª Olimpíada
Internacional de Química*

10 ➤ **Obituário**

Ricardo Feltri

20 ➤ **Aconteceu na RQI ...**

Artigos

21 ➤ **Estudo de caso: experimentações com o uso do processo fenton homogêneo**

Case study: experiments with the use of the homogeneous fenton process

32 ➤ **Evaluation of the efficiency of sequential electro-oxidation/adsorption and adsorption/electro-oxidation techniques in removing *Novacron Blue* from aqueous solution**

Avaliação da eficiência das técnicas sequenciais de eletro-oxidação/ adsorção e adsorção/eletro-oxidação na remoção de Novacron Blue de solução aquosa

54 ➤ **Corantes na Indústria de Alimentos**

Food industry dyes

Expediente

RQI – Revista de Química Industrial

(www.abq.org.br/rqi)

Órgão oficial da Associação Brasileira de Química para divulgar os eventos que promove; publicar matérias relevantes na área de química, como entrevistas com eminentes personalidades da ciência e tecnologia em geral, artigos técnicos, técnico-científicos e científicos relacionados à área industrial, P&D (inclusive em escala de laboratório) e desenvolvimento de técnicas analíticas, bem como resenhas de livros e outras publicações. A convite do Editor, a RQI publica artigos de opinião de pessoas convidadas.

Indexada no Chemical Abstracts. Classificada no WebQualis da CAPES nas áreas de Ciências Agrárias (B5), Ciências Ambientais (B5), Direito (B4), Engenharias I (B4), Engenharias II (B4), Engenharias III (B5), Interdisciplinar (B4) e Química (B5).

Para fins de citação, a abreviatura da revista a ser usada é Rev. Quim. Ind.

Fundador

Jayne da Nóbrega Santa Rosa (1903-1998)

Editor

Julio Carlos Afonso (UFRJ)
e-mail: editordarqi@abq.org.br

Editor Associado

Airton Marques da Silva (UECE)

Conselho Editorial

Alvaro Chrispino (CEFET-RJ)
Cláudio José de Araújo Mota (UFRJ)
David Tabak (FIOCRUZ)
Eduardo Falabella Sousa-Aguiar (CENPES e UFRJ)
Geraldo André Fontoura (Bayer e UFF)
Gil Anderi da Silva (USP)
Magda Beretta (UFBA)
Maria de Fátima Vitória de Moura (UFRN)
Newton Mario Battastini (SINDIQUIM - RS)
Peter Rudolf Seidl (UFRJ)
Sergio Roberto Bulcão Bringel (INPA e CRQ-XIV)
Silvana Carvalho de Souza Calado (UFPE)
Viridiana Santana Ferreira-Leitão (INT)

Capa, arte e diagramação

Adriana Lopes - asl.eventos@globocom

© É permitida a reprodução dos artigos e reportagens desde que citada a fonte.

Os textos assinados são de responsabilidade de seus autores.

Normas para envio de artigos: ver na 3ª capa e no portal www.abq.org.br/rqi.



Associação Brasileira de Química

Utilidade Pública Federal Decreto 33.254 de 08/07/1953

Mantida Decreto de 27/05/1992 (DOU Seção I - 28/05/1992)

Sede Própria: Avenida Presidente Vargas, 633 - Sala 2208 20071-004
Rio de Janeiro - RJ
Tel / Fax: +55 21 2224-4480
e-mail: secretaria@abq.org.br
www.abq.org.br

Missão: Promover e apoiar, junto à sociedade em geral, discussões e ações estratégicas para a difusão da Química e áreas afins, nos campos da ciência, da educação, da tecnologia e da inovação, por meio de visão sistêmica e integrada ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável, visando à melhoria da qualidade de vida.

Visão: Ser uma entidade reconhecida em âmbito nacional e internacional, destacando-se no cenário científico e tecnológico, fundamentada na ética e na excelência de suas práticas.

Diretoria (mandato novembro 2021 a novembro de 2023)

Presidente

Jorge Cardoso Messeder
jorge.messeder@gmail.com

Diretor de Educação

Anna Maria Canavarro Benite
anna@ufg.br

Vice-Presidente

Jean Carlos Antunes Catapreta
jcac889@hotmail.com

Diretor de Eventos

Airton Marques da Silva
airton.marques@uece.br

Diretor Administrativo

Estevão Freire
estevao@eq.ufrj.br

Diretor das Olimpíadas de Ciências

Jean Carlos Antunes Catapreta
jcac889@hotmail.com

Diretor Financeiro

Luis Carlos Abreu Gomes
luisabq.gomes@gmail.com

Diretor das Olimpíadas de Química

Sergio Maia Melo
obquimica@gmail.com

Diretor de Divulgação Institucional

Claudio Roberto Machado Benite
claudiobenite@gmail.com

Diretora Técnico-Científico

Silvana Carvalho de S. Calado
silcalado@yahoo.com.br

Diretores Regionais (mandato novembro 2021 a novembro de 2023)

Centro-Oeste

Renato Candido da Silva
renatocandido@ufg.br

Sudeste

Mauro Aquiles La Scalea
mauro.scalea@unifesp.br

Nordeste

Djalma Jorge de Santana Nunes
nunes.djalma@gmail.com

Sul

Leandro Rosa Camacho
camacho.leandro@gmail.com

Norte

Alcy Favacho Ribeiro
favacho@ufpa.br

Coordenação, Gerencia e Secretaria

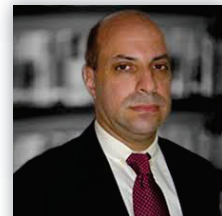
Gerente de Eventos

Celso Augusto Fernandes
abqeventos@abq.org.br

Secretaria Geral

Fabício Antonio Costa
secretaria@abq.org.br

Editorial



Júlio Carlos Afonso

Com este número, a Revista de Química Industrial fecha mais um ano de sua trajetória, ano esse marcado por dificuldades de toda ordem decorrentes da pandemia da COVID-19. Porém, para um periódico às vésperas de completar 90 anos, e que superou diversos momentos difíceis ao longo desse tempo, as dificuldades presentes são um estímulo para seguir em frente. Vive-se um período único no qual desde 2019 centenários de diversos fatos que impactaram e ainda hoje impactam a química brasileira são lembrados e comemorados. O clímax terá lugar em 2022, com o centenário do primeiro congresso de química no país e da fundação da mais antiga sociedade dedicada à química, hoje representada pela Associação Brasileira de Química, em conjunção com o bicentenário da independência do Brasil.

Embora a ABQ tenha realizado suas atividades habituais neste ano, com destaque para o 60º Congresso Brasileiro de Química, inteiramente em modo virtual, a cobertura que a revista normalmente faz no último número de cada ano será apresentada no primeiro número do ano que vem. Porém, não se poderia deixar de registrar o desempenho dos quatro alunos brasileiros na 53ª Olimpíada Internacional de Química (53rd IChO), na qual o país manteve 100% de aproveitamento, com três medalhas de bronze e uma de prata.

Este número mantém o foco no tema segurança química. O Professor Carlos Vaz, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, nos apresenta um texto bastante abrangente, fruto de sua experiência na área de ensino, e que complementa o conteúdo apresentado no número anterior: visões da indústria e da academia se completam, colocando os leitores a par dos aspectos mais importantes em um assunto muito sensível não só para a formação dos profissionais da área química, como também para a própria atuação deles. A definição dos temas (matérias centrais) dos números desta revista para o ano que vem será tomada mais à frente, e as decisões serão comunicadas no editorial do próximo número.

Outro destaque deste número são os seus pioneiros da química: mantendo o foco em grandes nomes que marcaram a educação brasileira no século XX, um quinteto é passado em revista: Álvaro de Bitencourt Carvalho, Archimedes Pereira Guimarães, Carlos Ernesto Júlio Lohmann, Djalma Hasselmann e Oswaldo de Almeida Costa. Todos eles participaram do Primeiro Congresso Brasileiro de Química. Além destes pioneiros um obituário homenageia Ricardo Feltre, renomado personagem da educação brasileira, recentemente falecido, e que foi sócio da ABQ.

Conforme o costume, a seção "Aconteceu na RQI" traz chamadas para acontecimentos marcantes da química brasileira no século XX. A indústria nacional é o ponto de destaque. Os textos completos podem ser acessados pelo portal da revista.

O Caderno de Química Verde, um dos pontos que alicerça esta Revista para patamares mais elevados, se faz mais uma vez presente com um novo número. Uma referência em trabalhos e demais formas de produção intelectual de sua área.

Ao finalizar este ano, este Editor aproveita o momento para desejar a todos os nossos caros leitores um maravilhoso Natal e um Ano Novo repleto de realizações, com a esperança que 2022, de especial importância na química brasileira, seja de fato um ano muito especial. Em 2022, a RQI continuará evoluindo, fazendo parte ativa de todas as comemorações.

RQI: o passado, o presente e o futuro da química aplicada no Brasil passam por aqui!

SEGURANÇA QUÍMICA NOVAMENTE EM FOCO

Segurança Química é realmente um assunto bastante sensível aos leitores da Revista de Química Industrial. Face à repercussão da matéria sobre esse tema veiculada no último número, o Editor manteve o foco para a presente edição, na qual a Segurança Química é tratada sob o viés da educação e formação intelectual e cidadã dos profissionais da área química.

O entrevistado é Carlos André Vaz Júnior, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Química da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. É graduado em Engenharia Química pela própria Escola de Química (2002), com mestrado e doutorado pelo Programa de Tecnologia de Processo Químicos e Bioquímicos da Escola de Química. É formado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UFRJ em 2012. Dedicar-se atualmente à área de Segurança de Processos, desenvolvendo pesquisas em detecção de falhas, análise de risco e segurança em laboratórios. É o responsável pelas disciplinas de Graduação "Segurança de Processos e Prevenção de Perdas", "Proteção contra incêndios industriais" e "Computação Científica".

RQI - O que você entende por segurança química?

Carlos André - Este é um ponto interessante. Procuro evitar o uso de rótulos nesta área, uma vez que me parecem limitar o escopo das análises. Como assim? Vamos refletir sobre as fronteiras da segurança química e da segurança de processos. Indústrias químicas devem focar na segurança química? Sim! Mas muitos cenários acidentais que vemos nas plantas



Carlos André Vaz Júnior

químicas estão mais relacionados com riscos físicos, como, por exemplo, sobrepressão de um vaso. Em geral as indústrias químicas empregam operações químicas, físicas e físico-químicas em seus processos industriais. A segurança química estudará os riscos físicos? Ou deverá avaliar apenas os riscos relacionados ao armazenamento, uso e descarte de produtos químicos? O risco químico é muito importante para qualquer profissional da indústria, mas ele deve ser entendido em um contexto maior.

Essa questão é ainda mais ampla: qual a fronteira que divide a segurança de processos e a segurança do trabalho ou segurança ocupacional? São outros rótulos que apenas limitam a análise. O conceito de biossegurança segue pelo mesmo caminho. Diversos profissionais consideram que a biossegurança estuda apenas os riscos biológicos, outros já ampliaram este conceito para envolver também riscos físicos, riscos químicos, riscos de acidentes, etc. É uma forma de entender. A própria fronteira da segurança que estamos falando aqui, conhecida como "safety" em inglês,

para a segurança patrimonial, ou "security", às vezes é incerta. O roubo de um cilindro de gás industrial é um cenário de segurança patrimonial, mas com potencial ameaça para a segurança de processos, segurança do trabalho, e segurança química. O mesmo para o roubo de gasolina em dutos, que infelizmente ainda ocorre em determinadas regiões. Inclusive, a ação de terceiros é uma das principais causas para acidentes envolvendo dutos que transportam produtos químicos.

RQI - Em geral, qual a visão dos alunos em relação a segurança química quando iniciam seu curso superior?

Carlos André - Na Escola de Química da UFRJ recebemos alunos para os cursos de graduação nas engenharias química, bioprocessos e alimentos, assim como para o curso de química industrial. A maior parte dos alunos não conhece o tema da segurança química em particular, ou mesmo da segurança em termos mais amplos. Infelizmente no Brasil ainda não temos uma cultura de segurança forte, que seja trabalhada desde os primeiros anos da educação infantil. A exceção fica por conta dos alunos oriundos dos cursos técnicos. É comum recebermos alunos que já são técnicos em química, por exemplo. Neste caso, eles já são capazes de discutir um pouco sobre risco químico e uso de FISPQ. Porém, alguns chegam com uma visão quase "burocrática", associando segurança a simples aplicação das Normas Regulamentadoras do Trabalho (NRs), provavelmente fruto de uma formação incompleta na área.

RQI - Na qualidade de Professor da Disciplina de Segurança de Processos, quais são os pontos mais relevantes para que um profissional da área química possa atuar em instalações industriais com segurança e consciência do trabalho que está

executando?

Carlos André - Na minha visão, a percepção de risco é o ponto fundamental para uma atuação profissional com segurança. A identificação dos possíveis cenários acidentais ajuda a compreender o que pode dar errado, e assim refletir sobre como evitar o problema. Existem várias técnicas formais para isso, seja por HAZOP, Análise Preliminar de Perigos (APP), Check-lists, entre outras. Mas a técnica em si não é o mais importante, o fundamental mesmo é que desenvolva essa visão. A capacidade de olhar para o ambiente de trabalho, para o projeto, para a mudança que está sendo planejada, e refletir sobre os possíveis riscos que podem estar presentes. A partir do momento que este profissional entende que está vulnerável e precisa gerenciar os riscos, ele terá condições de se aprofundar no assunto e buscar soluções adequadas. Mas sem a percepção de risco não existe nem a preocupação com a segurança.

RQI - Quais são as principais diferenças entre segurança laboratorial e segurança industrial?

Carlos André - Existem inúmeras semelhanças e diferenças. No ambiente industrial o porte dos equipamentos é centenas ou milhares de vezes maior do que aquele que usamos nos



laboratórios. Pressões, vazões, temperaturas, muitas condições operacionais se tornam mais severas no ambiente industrial, onde a produção precisa ser maximizada. Essas condições extremas nos levam ao aumento do risco. Grandes vazamentos de produtos químicos podem contaminar áreas enormes, impactando não apenas a própria indústria, mas também empresas vizinhas, rodovias próximas e populações que moram nas imediações. A severidade e o porte precisam ser considerados quando estamos numa planta industrial.

Por outro lado, no laboratório a tendência é operar com volumes e vazões menores. Os reatores químicos usados em laboratórios normalmente cabem sobre uma bancada. Embora pressões e temperaturas elevadas também possam estar presentes em laboratórios, de forma geral as condições são menos severas. Raramente um acidente em laboratório conseguirá afetar populações vizinhas, prédios vizinhos, ou rodovias próximas.

Isso significa que laboratórios são mais seguros que plantas industriais? Não! Embora o porte dos equipamentos usados em laboratórios seja menor, a proximidade das pessoas é muito maior. Um pesquisador em seu laboratório irá passar horas trabalhando a poucos centímetros de um reator químico. E o mesmo acontece com os demais ocupantes deste espaço. No laboratório as pessoas estão mais próximas dos

equipamentos, e isso eleva o risco. Na indústria este afastamento é maior e poucas pessoas vão passar o dia trabalhando nas proximidades de vasos de pressão, por exemplo. Os sensores e a automação eliminaram muito do trabalho de campo que era realizado, o que elevou os níveis da segurança industrial.

Além da proximidade, outro ponto contribui para elevar o risco no laboratório: a variedade de trabalhos executados e a diversidade de pessoas no local. Numa refinaria de petróleo, por exemplo, a produção se repete ao longo de dias, semanas, meses e anos. Existe pouca variação na operação diária. Em laboratórios as linhas de pesquisa variam enormemente. Cada aluno de iniciação científica, cada aluno de mestrado ou doutorado, cada projeto de pesquisa, pode representar uma linha distinta, envolvendo rotas químicas diferentes e com riscos específicos. Ao longo do ano as atividades mudam. Gerenciar essa variação é um desafio enorme!

Do mesmo modo, na indústria é mais fácil controlar a exigência de treinamento básico para todos os funcionários do processo. Em geral existe inclusive uma gerência na empresa especialmente dedicada ao treinamento e capacitação. No laboratório de ensino isto não ocorre. Pesquisadores com diferentes níveis de conhecimento dividem o mesmo espaço. Essa diferença contribui para elevar o risco.

RQI - A segurança de um processo laboratorial pode ser extrapolada para a segurança de um processo industrial?

Carlos André - Sim. Um aluno que frequente laboratórios onde a segurança é um valor, onde a cultura de segurança está bem desenvolvida, onde existem procedimentos e estes são seguidos, levará esta experiência para a indústria. Este, inclusive, é um papel da aula experimental: permitir que o aluno desenvolva



Escola de Química UFRJ

uma cultura de segurança adequada, assim como boa percepção de risco. Quando não valorizamos a segurança nos laboratórios de ensino, quando deixamos alunos se alimentarem durante as aulas, assistirem aula sem os equipamentos de proteção individual indicados, ouvindo rádio e brincando, quando ignoramos procedimentos, estamos prejudicando a formação deste profissional. Estamos ensinando para o aluno que segurança é algo secundário, de menor relevância. E quando este aluno for para a indústria, ele terá muito mais dificuldades para se adaptar.

RQI - E o oposto? A segurança de um processo industrial pode ser extrapolada para a segurança de um processo laboratorial?

Carlos André - Eu acredito que sim. A indústria evoluiu fortemente na segurança de processos ao longo das últimas décadas. Após os terríveis acidentes ocorridos nas décadas de 1970 e 1980, o setor precisou mudar. A sustentabilidade do negócio, a viabilidade da empresa, passam, atualmente, por uma operação com mais segurança. Programas mundiais, como o *Responsible Care*, no Brasil denominado Atuação Responsável, foram criados e hoje contam com dezenas de empresas participantes.



A própria legislação se tornou muito mais dura, especialmente em termos ambientais. Todo este aprendizado poderia ser usado também nos laboratórios. Veja um exemplo: a indústria química utiliza um Sistema de Gestão de Segurança bastante amplo e completo, buscando identificar riscos e perigos e agir para

minimizar estes riscos. Existe enorme foco em treinamento, gestão de mudanças, elaboração de procedimentos, investigação de acidentes, etc. Poderíamos desenvolver um sistema de gestão de segurança para laboratórios? Claro que sim. O caminho já foi trilhado pelas maiores empresas químicas do mundo, podemos aprender com essa experiência, copiar o que for interessante, adaptar aquilo que precisa ser adaptado. A universidade sempre buscou encontrar soluções para os desafios da indústria, mas creio que, em segurança, chegou o momento de a universidade aprender com a indústria.

RQI - Dentre as Normas Regulamentadoras hoje em vigor, quais são, em sua visão, as mais relevantes para que um estudante da área química possa ter uma visão ampla da segurança no trabalho com produtos químicos?

Carlos André - Na minha visão, quem está começando na área deveria conhecer as normas regulamentadoras de escopo mais amplo, que serão úteis em qualquer atividade profissional. Neste contexto, destaco a NR 1 (Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais) e a NR 9 (PPRA - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais). A leitura destas duas Normas permite compreender o escopo amplo da segurança do trabalho e reforça a relevância destes dois temas.

O Gerenciamento de Riscos é a base para qualquer tipo de segurança, seja ela química, ocupacional, operacional, ou de processos. É preciso conhecer os riscos (identificar), mensurar estes riscos (avaliar), para então poder decidir o que fazer (gerenciar). Acredito que somente conhecendo os cenários acidentais que podem ocorrer em um dado ambiente de trabalho, ou durante a execução de uma dada atividade, é que poderemos evoluir no tema.

RQI - O tema incêndio é recorrente em atividades químicas. Como é mostrar aos alunos o histórico desde as origens de um incêndio até a sua completa extinção?

Carlos André - Aqui na Escola de Química da UFRJ dispomos de uma disciplina eletiva (opcional) para tratar da temática de incêndios industriais com nossos alunos de graduação. Dividimos a disciplina em três partes. Na primeira, focamos nos conhecimentos básicos sobre o tema, nas reações de combustão, na explicação do Triângulo do Fogo e Tetraedro do Fogo, na definição de líquido inflamável e líquido combustível, etc. Discutimos também os fenômenos de BLEVE e Boilover, assim como estudamos acidentes passados. A segunda parte da disciplina trata da modelagem matemática de um incêndio, cálculo do calor radiado a partir de incêndio em poça, por exemplo, estimativa das dimensões de uma bola de fogo, etc. Finalmente, na terceira parte trabalhamos o escopo legal e normativo. O aluno é apresentado a legislação de incêndio em vigor no Estado do Rio de Janeiro, assim como algumas normas ABNT e NFPA (*National Fire Protection Association*).

RQI - Como vê o papel das Universidades e Escolas Técnicas para a formação de profissionais preparados para lidar com a Segurança Química em todos os níveis (laboratorial e industrial)?

Carlos André - Toda a área acadêmica possui um papel muito importante no desenvolvimento de uma cultura de segurança. Em outros países as escolas infantis já se preocupam em realizar simulados de emergência, em fazer com que as crianças entendam a importância da segurança, a importância dos procedimentos em caso de emergência. No Brasil ainda não temos estes treinamentos. Na verdade, poucas são as empresas que se preocupam em realizar simulados de incêndio, por exemplo.



E incêndio não é um problema apenas da indústria química, pode afetar qualquer edificação, qualquer ambiente. Especificamente em termos de segurança na indústria, as Escolas Técnicas e Universidades precisam incorporar essa temática nas suas grades curriculares. Discutir segurança em aula, do mesmo modo que discutimos física, química, cálculo e meio ambiente. No passado as questões ambientais não entravam nas salas de aula, atualmente estão em todos os cursos. Com a segurança deveria ocorrer o mesmo. Estamos em 2021 e os alunos estão se formando sem saber o que é "risco", isso é básico.

Mas aqui existe um ponto que precisamos entender: segurança não é só seguir as NRs, ou só ler as FISPQs dos produtos. Muitas instituições de ensino incorporam uma disciplina de segurança do trabalho na grade curricular e acreditam que estão discutindo segurança. A obediência legal é apenas um dos aspectos. Não é mais possível confundir segurança com NR, ou segurança com FISPQ. Estes documentos são apenas uma parte da segurança - parte de um universo muito mais amplo.

Notas do editor:

⇒ O entrevistado pode ser contatado por meio do endereço eletrônico cavazjunior@eq.ufrj.br.

⇒ Seu currículo Lattes pode ser acessado clicando em <http://lattes.cnpq.br/1862808949097711>.

⇒ O endereço do Professor Carlos Vaz é:

Escola de Química da UFRJ

Departamento de Engenharia Química

Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Bloco E, Sala E-209

Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ. CEP: 21941-909.

Ou seja, é preciso conhecer para melhorar!

Essa mesma linha de pensamento está presente no PPRA, ou Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. A NR 9 detalha este tema. O PPRA foca exatamente na identificação, avaliação e controle (gerenciamento), dos riscos presentes no ambiente de trabalho.

Depois de dominar estas duas Normas, o estudante estará pronto para realizar uma leitura crítica e um debate maduro sobre as demais normas regulamentadoras em vigor.

RQI - Que outros documentos (portarias, normas, leis etc.) devem estar ao alcance dos alunos para aprimorarem sua formação e conscientização quanto à segurança química?

Carlos André - A formação em segurança passa pela capacidade de identificar riscos. Mas como um profissional com pouca experiência pode ser capaz de identificar riscos? Aprendendo com o passado! Atualmente temos uma ampla literatura sobre acidentes passados na indústria química e em outros setores. Conhecer o acidente de

Bhopal, na Índia, e de Seveso, na Itália, é fundamental. Existem textos de enorme qualidade disponíveis na internet, assim como documentários na forma de vídeos que podem ser acessados gratuitamente. Para acidentes mais recentes, recomendo fortemente o site da agência americana *Chemical Safety Board* (CSB). A CSB realiza um ótimo trabalho na investigação de acidentes, e depois disponibiliza no seu site a versão final do relatório e um vídeo demonstrativo. Estes vídeos são rápidos e úteis, e permitem entender a dinâmica do acidente. Conhecer o passado é fundamental para não repetir os mesmos erros!

No contexto da segurança química gostaria de recomendar o estudo de um acidente específico, ocorrido nos Estados Unidos em 2007. Trata-se do acidente denominado “T2 Laboratories Inc. Reactive Chemical Explosion”, cuja investigação encontra-se no site da CSB, e deu origem a um pequeno vídeo explicativo. Os investigadores discutem conceitos fundamentais de reatividade, estabilidade química e projeto de reatores. Recomendo para todos os alunos!



U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD

INVESTIGATION REPORT



T2 LABORATORIES, INC.

RUNAWAY REACTION

(Four Killed, 32 Injured)



Ricardo Feltre

Faleceu aos 93 anos, na madrugada de 5 de novembro em São Paulo, cidade onde nasceu a 25 de julho de 1928, o professor, editor e autor Ricardo Feltre. Deixa a esposa, dois filhos e netos. Formou-se em engenharia química pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) em 1951. Em outubro de 1968, Feltre se juntou com Carlos Marmo e Setsuo Yoshinaga, colegas e professores como ele, para criar uma editora. O objetivo era produzir em escala materiais didáticos que eles já usavam em salas de aulas de cursos pré-vestibular. Nascia a Editora Moderna, vendida em 2001 ao Grupo Santillana.

"O professor Feltre transformou o ensino de Química para estudantes do Ensino Médio e formou uma legião de professores e alunos nas últimas décadas. Deixa uma marca importante como empreendedor, quando, aos 40 anos, fundou a Editora Moderna e construiu uma empresa onde as pessoas sempre foram respeitadas e puderam expressar suas opiniões com liberdade. Estou na Moderna há mais de 30 anos, onde convivi e aprendi muito com o Professor Feltre. Sigo guiado por seus ensinamentos", afirmou Ângelo Xavier, diretor-geral da Editora. E diz que "a simplicidade, o carisma e algumas 'sacadas engraçadas' tornavam a conversa com Ricardo agradável".

O Conselho Federal de Química e a Câmara Brasileira do Livro (CBL) também lamentaram a morte do editor. "Com grandes contribuições para o mercado editorial brasileiro, foi autor de livros de muito sucesso, amplamente usados no Ensino Médio nas disciplinas de Química e Físico-Química." Feltre foi muito atuante na Câmara Brasileira do Livro.

A Associação Brasileira de Química expressa seus mais profundos sentimentos aos familiares do ilustre Mestre, que foi sócio desta Associação por muitos anos.

A relação de Ricardo Feltre com o ensino de química vem de muito antes da fundação da Editora Moderna. Em 1954, aos 26 anos, Feltre, professor de química no Liceu Coração de Jesus, organizou uma exposição sobre os mais variados assuntos de química. O foco era apresentar aos estudantes e visitantes a organização dos átomos nas moléculas, a estrutura de diversos compostos e as mais diversas reações químicas. Em 1956, ingressou como professor de química da EPUSP, permanecendo até 1986, e onde fez seu doutoramento.

CADERNO DE QUÍMICA VERDE

Ano 6 - Nº 21 - 2º semestre de 2021

10-2

Editorial

10-7

QUÍMICA VERDE

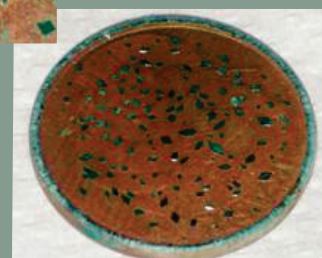
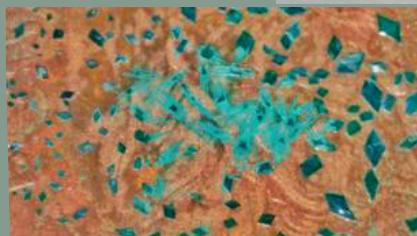
Eventos

O Jubileu de Prata
da Conferência Anual
de Química e
Engenharia Verde

A Escola de Inverno
de Química Verde

Neste Caderno

10-3



A Aplicação de
Microescala na Química Verde:
Uma Proposta de
Experimento Sustentável

Editorial

“Não interessa!”

“Muito chato.”

“Ainda falta muito para trilharmos este cominho otimista proposto pelo autor. Lembro que a mesma empresa que produz polímeros de fontes renováveis é a dona da antiga Salgema que inviabilizou o uso das praias do sul de Maceió em razão da poluição e ainda comprometeu a geologia de parte da cidade”.

“Acho muito pouco provável que as corporações do setor químico (Empresa B), mudem suas estratégias produtivas em benefício da natureza, principalmente, por tratarem-se de grupos voltadas a destruição do meio ambiente e fio diversidade (Empresas M, C,...)”.

Estes comentários, gerados em pouco menos de um mês depois da publicação do artigo denominado QUANDO TODA A QUÍMICA SERÁ VERDE? que apareceu na Edição 379 de Ciência Hoje, indicam que notícias sobre a assinatura de acordos internacionais e de compromissos assumidos por empresas e governos para estimular o verde, negociados na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 26), provocam uma reação muito negativa junto a leitores interessados em ciência. Aparentemente o viés muito positivo do artigo, baseado em ênfase na sustentabilidade e nas medidas adotadas para recuperar a economia e o nível de emprego, não parece convencer uma parcela muito relevante do público, os interessados na geração de conhecimentos e em como suas contribuições beneficiam a sociedade. Estas são justamente as pessoas que estão se informando sobre a economia verde, a necessidade de reciclar e reaproveitar tudo que é produzido e o papel das matérias primas renováveis e biocombustíveis na diminuição do nível de gases do efeito estufa. Seu apoio político é essencial para garantir o nível e a continuidade da pesquisa e desenvolvimento de processos sustentáveis e para evitar que a opinião pública seja levada na direção oposta.

A Escola Brasileira de Química Verde trabalha há mais de dez anos na geração de conhecimentos sobre o assunto, na formação de quadros capacitados a transmiti-los em todos os níveis e na divulgação de suas implicações para a sociedade. Para tanto, dedicou o Encontro que comemora os seus dez anos de atividade aos conhecimentos e aplicações sustentáveis de átomos e moléculas e convidou educadores e pesquisadores para apresentar e discutir as suas ferramentas e métricas, elementos essenciais para a sua avaliação. Teve como base os resultados de ações mais recentes na investigação dos efeitos da pandemia na educação. Seus impactos foram analisados, no final do ano passado, através de uma oficina que reuniu especialistas nos assuntos mais relevantes e teve como consequência a ampliação da oferta de eventos para difundir os conceitos fundamentais da Química Verde que norteiam atualmente seu ensino e pesquisa. Apontou, inclusive, a considerável dimensão e variedade do universo de interessados no assunto..

O X Encontro da Escola Brasileira de Química Verde, realizado no dia 10 de novembro, pp, revelou o que já existe no país uma apreciável rede de instituições capacitada para enfrentar os desafios colocados para o Brasil nas discussões da COP 26, notadamente a Química Verde Circular e Sustentável. a Captura e Conversão de Gases do Efeito Estufa, Aplicações de Resíduos da Biomassa como Matérias Primas e Química Verde no Ensino Fundamental. O trabalho que conquistou o 1º lugar no Prêmio Professor Sucupira, abordou a Produção de Hidrogênio a partir da Palha de Cana.

A presente edição aborda dois eventos, um de natureza internacional, realizado pelo Green Chemistry Institute, nossa congênere na American Chemical Society (ACS), e outro pelo nosso parceiro, o ACS UFRJ Student Chapter, sob a forma de uma Escola de Inverno dedicada a elementos essenciais à divulgação da Química Verde em diferentes segmentos. Publica também o primeiro artigo convidado pelo Grupo de Trabalho em Educação que assessora o Corpo Editorial. Serve como exemplo do tipo de matéria de maior interesse para o Caderno.

A próxima edição será dedicada ao X Encontro da Escola Brasileira de Química Verde. As contribuições da Química e das Engenharias de Materiais e de Bioprocessos no Brasil à COP 26 serão destacadas.

Peter Seidl, Editor

A Aplicação de Microescala na Química Verde: Uma Proposta de Experimento Sustentável

Geovani Aristeu Lima Silva, Thainá Nascimento da Conceição Gomes e Suelen Stutz Gomes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – campus Duque de Caxias

geovaniaristeu@hotmail.com

Resumo

Iniciativas que prezam a eficiência de tudo aquilo que é criado e utilizado emergem com a urgência de se discutir um futuro mais sustentável. Propor atividades experimentais com menores quantidades de substâncias, gerando menos resíduos, é uma abordagem promissora para a formação de profissionais mais conscientes. Este artigo sugere um experimento em microescala – de fácil reprodução – e discute a necessidade de inserção dessa conduta na educação em Química.

Palavras-chave: Química Verde, Microescala, Experimento.

Introdução

Condutas ambientalmente amigáveis nem sempre são adotadas pelos espaços que estudam e/ou reproduzem transformações químicas da matéria. Encorajar profissionais ao manejo inteligente de suas reações e processos é um dos legados da Química Verde (QV). Com protagonismo no olhar sustentável da Química, a QV preza pela aplicação de condutas que reduzam ou eliminem o uso e a geração de substâncias nocivas à vida humana e ao ambiente (ANASTAS E WARNER, 1998). Como uma abordagem mais verde de se fazer ciência, gerar o mínimo de resíduos possível é essencial na atividade química cotidiana. Para cumprimento de tal objetivo, existem metodologias como a microescala, que visa reduzi-los significativamente (MOHAMED, ABDULLAH e ISMAIL, 2011).

Experimentos com reagentes em menores quantidades é uma das principais premissas da experimentação em microescala na educação em Química. Trabalhar tal metodologia para agregar valores à Química Verde é uma das formas relatadas na literatura para se

alcançar a educação para um futuro sustentável (SINGH, SZAFRAN e PIKE, 1999). Tendo em vista um futuro com práticas mais limpas, é essencial que haja amplo acesso a teorias e experimentos envolvendo métodos que tragam consigo essa reflexão. Através da inserção de uma metodologia experimental com baixíssima geração de resíduos, correlacionada com a Química Verde, este trabalho propõe um roteiro experimental acessível às mais diversas realidades da educação e que proporciona conteúdo teórico no mesmo nível daqueles que se isentam de ideais verdes.

Microescala

Embora pareça que seja somente a arte de miniaturizar a escala dos experimentos, a microescala pode ser uma metodologia complexa (recomendamos a leitura do trabalho de DUARTE, RIBEIRO e MACHADO, 2017), definida como “abordagem segura de prevenção da poluição usando quantidades significativamente reduzidas de produtos químicos” (ABDULLAH, MOHAMED e ISMAIL, 2009). Possui vantagens, como: (i) diminui a quantidade de substâncias envolvidas, (ii) reduz o tempo de reação, (iii) minimiza a quantidade de resíduos pós-síntese e (iv) benefícios econômicos pela redução do uso de reagentes.

A importância da integração entre microescala e QV em prol de procedimentos experimentais verdes

Há uma sequência de erros que se deve evitar: i) A atividade química diária em um laboratório, seja de ensino ou pesquisa, utiliza substâncias que podem ser nocivas; ii) A experimentação não desempenha seu real papel, sendo vista como uma técnica dentro das metodologias de ensino; iii) Por fim, as questões ambientais são pensadas após a geração de resíduos e não antes.

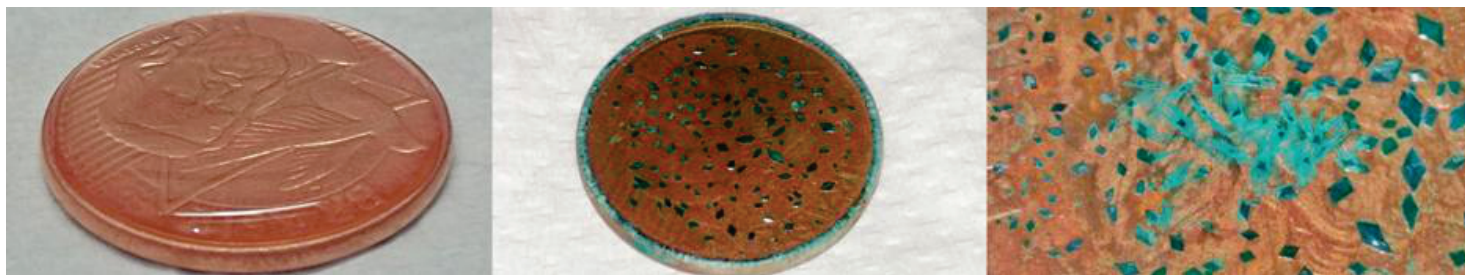


Figura 1 – Vinagre branco sobre a moeda e os cristais de $\text{Cu}_2(\text{OAc})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ formados

A importância da integração entre microescala e QV em prol de procedimentos experimentais verdes

Há uma sequência de erros que se deve evitar: i) A atividade química diária em um laboratório, seja de ensino ou pesquisa, utiliza substâncias que podem ser nocivas; ii) A experimentação não desempenha seu real papel, sendo vista como uma técnica dentro das metodologias de ensino; iii) Por fim, as questões ambientais são pensadas após a geração de resíduos e não antes. Não há prevenção ou planejamento.

Da indústria à educação básica, desenhar experimentos que agreguem ideais verdes, é imprescindível para que a sustentabilidade deixe de ser teoria e se torne atitude responsável.

Priorizando ideais verdes, atividades laboratoriais podem repensar seu impacto, diminuindo o uso de reagentes e recursos, reproduzindo experimentos com menores quantidades, que por sua vez, geram menos resíduos.

Diariamente, protocolos experimentais são criados, refeitos, reproduzidos, replicados, e seus respectivos resíduos são tratados por remediação, quando o ideal seria repensar - previamente - sua geração.

Síntese do acetato de cobre (II) em microescala

A partir de buscas em bases de dados como Scopus, SciELO e *Science Direct*, um roteiro experimental verde para o ensino de Química pode ser proposto através do método descrito por Arroyo-Carmona *et al.* (2012), o qual traz a metodologia de síntese em microescala para o acetato de cobre (II).

A metodologia do experimento consiste em gotejar vinagre branco em uma moeda de cinco centavos, onde após sua evaporação, há formação de um complexo de cobre a partir da reação entre o ácido carboxílico (vinagre) e Cu, presente no revestimento da moeda (Figura 1).

Com o intuito de caracterizar o composto formado sobre a moeda, foi realizada a análise de Espectroscopia de Absorção no Infravermelho, em pastilhas KBr, em um espectrofotômetro PerkinElmer Frontier FT-IR/FIR (versão 10.4.2, número de série 98737).

O acetato de cobre (II) é caracterizado por meio de análise da intensidade dos picos: (i) De médios a fortes, picos nas regiões de 3476 , 3374 e 3272cm^{-1} , correspondentes ao estiramento do grupo O-H, são atribuídos às moléculas de água associadas ao íon acetato; (ii) Bandas mais fracas – relacionadas aos acetatos - são comumente encontradas nas regiões de 2988cm^{-1} e 2941cm^{-1} , correspondentes aos modos de estiramento de ligações C-H, assimétrico e simétrico, respectivamente, (iii) Na região de impressão digital, uma forte absorção de estiramento caracteriza o grupo COO^- em 1602cm^{-1} ; a absorção em 1445cm^{-1} é atribuída ao estiramento assimétrico do $-\text{CH}_3$, junto a um outro pico em 1421cm^{-1} , relacionado ao estiramento simétrico do grupo COO^- (BUSE, OTERO e MELO, 2019).

O espectro obtido foi comparado com a literatura e sugerem a presença de bandas nas mesmas regiões.

A presença de bandas correspondentes aos grupos O-H (H_2O associada ao íon acetato), C-H (grupo acetato) e

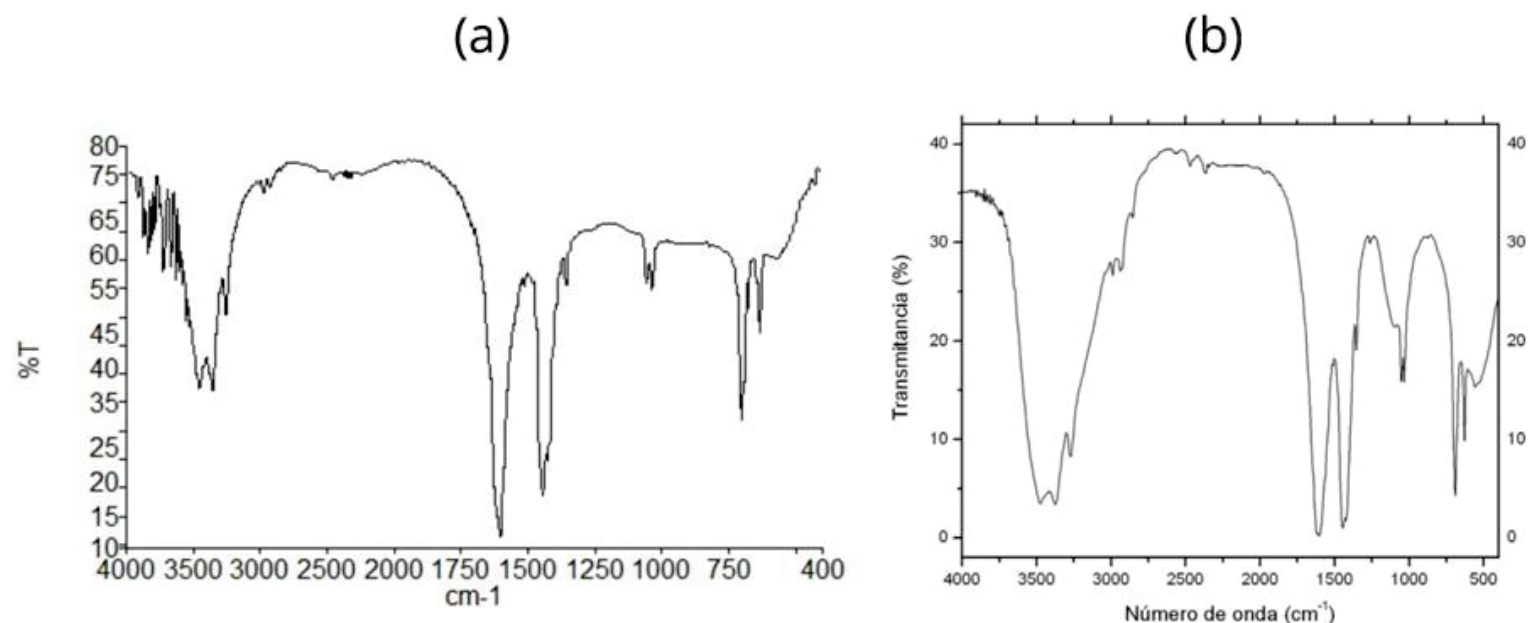


Figura 2 – Espectros de FTIR para o acetato de cobre (II) sintetizado (a) e o relatado pela por Arroyo-Carmona *et al.*, 2012 (b)

COO⁻ (carboxilato) foram confirmadas neste trabalho (Figura 2a), assim como no trabalho de Arroyo-Carmona *et al.* (2012) (Figura 2b), nas regiões de 3476-3272cm⁻¹, 2988-2941cm⁻¹, e 1602cm⁻¹, respectivamente.

Para fins de reflexão sobre diferentes metodologias em prol da síntese do mesmo composto, buscou-se na literatura outro método para a síntese do acetato de cobre (II).

Um método descrito por Fernandez e Marín (2000-2018) possui diversas etapas, aquecimento, diversos reagentes e etapas de purificação, bem diferente do proposto acima.

Aplicando os conhecimentos da Estrela Verde (EV), uma métrica holística semiquantitativa que avalia o quão verde é o experimento aplicado, nota-se visualmente que a verdura é mais expressiva para o experimento em microescala, quando comparado ao experimento encontrado na literatura (Figura 3a e 3b) na página ao lado.

Essa afirmação se justifica com base no chamado Índice de Preenchimento da Estrela, ou IPE, expresso em porcentagem. O IPE é um indicador numérico, que traduz o grau de cumprimento do processo estudado aos 12 princípios da QV (com exceção dos princípios 4 e 11, não aplicáveis ao ensino, pois não visa a síntese de

novos produtos).

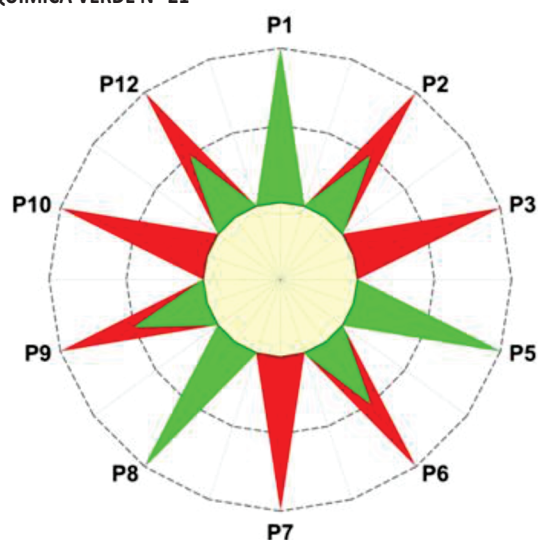
Para cada princípio, atribui-se a pontuação de 1 a 3, sendo o 1 uma representação de prática benigna, com ótima verdura e bom cumprimento ao princípio, enquanto o 3 representa baixa verdura e riscos ao princípio em questão.

O IPE é expresso através da razão [(área da estrela/área verde da estrela de verdura máxima) * 100], sendo IPE=100 como a verdura máxima, enquanto o IPE=0 significa verdura mínima (RIBEIRO, COSTA e MACHADO, 2010).

Em síntese, a EV demonstra o quão próximo de uma conduta limpa está o experimento proposto, sendo de fácil execução por um docente e fácil compreensão pelos profissionais em formação, induzindo ao protagonismo do aluno na construção de reflexões críticas e saberes sustentáveis.

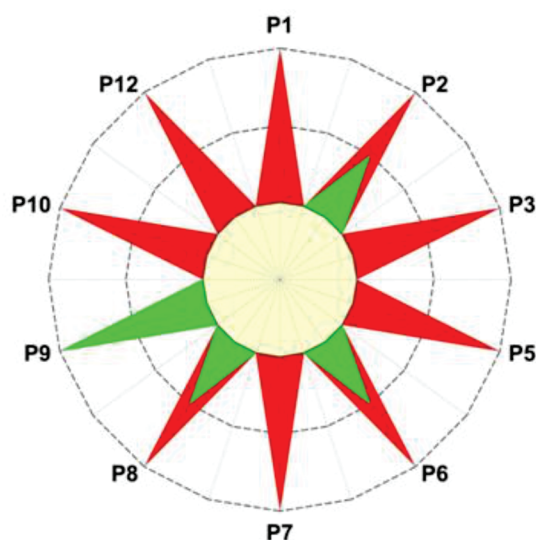
Através dessa métrica, uma atividade experimental ganha reforços para compreensão de seu impacto à saúde humana e ao ambiente.

Analisando a EV, o experimento em microescala se confirma como um procedimento ambientalmente amigável, apresentando o dobro de índice de preenchimento da prática proposta por Fernandez e Marín (2000-2018).



IPE = 50,00%

(a)



IPE = 25,00%

(b)

Figura 3 – Estrela Verde para a síntese do acetato de cobre (II) em: (a) microescala e (b) na metodologia de Fernandez e Marín (2000-2018). Fonte: RIBEIRO e MACHADO, 2014

Conclusões

Essencialmente, a microescala traduz esforços para minimizar quantidades de produto, enquanto a Química Verde é um conceito direcionado à eliminação do que é tóxico, nocivo, e de resíduos. Com a aplicação de uma metodologia simples e em pequena escala foi possível alinhar a proposta da microescala, em minimizar quantidades de produto, com os objetivos da Química Verde de eliminar ou reduzir resíduos. A Estrela Verde contribuiu para uma visão geral dos impactos dos experimentos, visão essa que tende a se fragmentar quando há execução de muitas etapas.

O uso de materiais acessíveis em todos os níveis de ensino, como o vinagre e moeda revestida de cobre utilizados neste trabalho, demonstra um caminho mais responsável para com a formação de futuros profissionais e a conduta de atividades químicas mais limpas. Podemos concluir que o experimento proposto traduz posturas ambientalmente amigáveis, sendo de fácil execução aos diversos níveis da educação, agregando valores imprescindíveis aos profissionais de Química e cidadãos de um futuro sustentável.

Referências

ABDULLAH, M.; MOHAMED, N.; ISMAIL, Z. H. The effect of an individualized laboratory approach through microscale chemistry

experimentation on students' understanding of chemistry concepts, motivation and attitudes. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 10, n. 1, p. 53-61, 2009.

ARROYO-CARMONA, R. E. *et al.* Síntesis microquímica y microelectroquímica de acetato de cobre (II) a partir de vinagre: Un ejemplo de química verde. *Educación química*, v. 23, p. 127-135, 2012.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press: New York, p. 11-52, 1998.

BUSE, J.; OTERO, V.; MELO, M. J. New insights into synthetic copper greens: the search for specific signatures by Raman and infrared spectroscopy for their characterization in medieval artworks. *Heritage*, v. 2, n. 2, p. 1614-1629, 2019.

DUARTE, R. C. C.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Reaction scale and green chemistry: Microscale or macroscale, which is greener?. *Journal of Chemical Education*, v. 94, n. 9, p. 1255-1264, 2017.

FERNÁNDEZ, J. M. L. L.; MARÍN, J. R. B. *Experimentación en Química Inorgánica*. Universidad de La Rioja. p. 5-6, 2000-2018. Acesso em 18 jul 2021. Disponível em: <<https://www.unirioja.es/dptos/dq/docencia/material/eqi/EQI.pdf>>

MOHAMED, N.; ABDULLAH, M.; ISMAIL, Z. Ensuring sustainability through microscale chemistry. In: SANGHI, R.; SINGH, V. (Eds.). *Green chemistry for environmental remediation*. New Jersey: Wiley-Scrivener, 2011. p. 119-136.

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação holística da veracidade de reações laboratoriais-"Estrela Verde". *Química Nova*, v. 33, p. 759-764, 2010.

SINGH, M. M.; SZAIFRAN, Z.; PIKE, R. M. Microscale chemistry and green chemistry: complementary pedagogies. *Journal of Chemical Education*, v. 76, n. 12, p. 1684, 1999.

RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. *Construção da Estrela Verde*, 2014. Disponível em: <http://educa.fc.up.pt/catalogo/pt/construcao_ev>. Acesso em: 18 jul 2021.

O Jubileu de Prata da Conferência Anual de Química e Engenharia Verde

JOIN ACS JOURNALS AT THE
25th Annual Green Chemistry & Engineering Conference
JUNE 14-18, 2021 | VIRTUAL CONFERENCE



ACS Publications
Most Trusted. Most Cited. Most Read.



ACS Green Chemistry Institute
Chemistry for Life®



O Annual Green Chemistry & Engineering (GC&E) Conference, promovido pelo Green Chemistry Institute da American Chemical Society (ACS) celebrou a sua 25ª edição de 14 a 18 de junho através de um evento virtual dedicado ao tema: Produção Sustentável para avançar a Economia Circular.

As conferências plenárias couberam à Eunice Heath, Dow; Gregg Beckman, National Renewable Energy Laboratory; Frank Gupton, Virginia Commonwealth University e Amy Prieto, Colorado State University e aos vencedores do ACS Sustainable Chemistry & Engineering Lectureship Awards, respectivamente, Jun Huang, The University of Sydney; Jeremy Luterbacher, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne e Meagan Mauter, Stanford University.

As sessões de Posters foram realizadas diariamente, proporcionando uma oportunidade de discussão dos trabalhos através das salas virtuais dedicadas à cada apresentação. O networking virtual sobre tópicos como: salas de aula, publicações de livre acesso e a evolução da pesquisa até a sua comercialização dominaram estas discussões ao longo do evento.

Os participantes puderam escolher entre oito simpósios realizados simultaneamente cobrindo tópicos

como: abordagens mais verdes à química orgânica, síntese de peptídeos e oligômeros, química de fluidos, biocatálise e catálise por metais abundantes na terra, por exemplo.

Abordagens sustentáveis em diferentes indústrias, como as de insumos domésticos, cuidados pessoais, petroquímica, agricultura e produtos farmacêuticos, por exemplo, foram também discutidas. Educadores se reuniram para comparar notas sobre a integração de abordagens sistêmicas e das Metas de Desenvolvimento Sustentável da ONU em seus respectivos currículos e comparar estratégias para a adaptação do ensino virtual às aulas e práticas de laboratório.

Foram oferecidos também uma sessão sobre carreiras em Química Verde e oficinas sobre toxicologia e sobre comunicação científica efetiva da ACS.

Mais de 1300 participantes de 55 países se inscreveram no evento. Por sinal, a Conferência de 2020 foi a primeira da ACS a ser realizada virtualmente. No entanto, os organizadores esperam que o próximo, previsto para Reston, no Estado da Virgínia, nos EUA, para 4 a 8 de junho de 2022, volte ser presencial.

Nota do editor:

O Caderno de Química Verde agradece à Jennifer MacKellar, do GCI/ACS pelas informações.

A Escola de Inverno de Química Verde

O ACS UFRJ Student Chapter realizou de 30 de agosto a 2 de setembro sua I Escola de Inverno, dedicada a Tópicos Especiais em Química Verde: a integração entre as perspectivas atuais e a ambientação curricular. Constatou-se de palestras, mesas redondas, oficinas e um minicurso, sendo realizada em formato virtual.

Na sessão de abertura Estevão Freire traçou a evolução da EBQV através dos Encontros realizados anualmente a partir de sua criação em 2011 até o início da pandemia, no ano passado. Estes eventos resultaram de uma oficina que preparou um roadmap para sua atuação e definiu suas linhas de trabalho.

Rafaela Martins apresentou um vídeo sobre as atividades realizadas entre 2011 e 2016 detalhando as iniciativas no sentido de estabelecer uma percepção de valor pela sociedade e destacando a importância de atividades do tipo "mão na massa" (como um esmalte renovável) e demonstrações simples e seguras.

Frederico Schoene ressaltou a importância da comunicação no ensino/aprendizado e dos trabalhos sobre a introdução de conceitos de QV no ensino fundamental, lembrando a importância de sua inclusão no ENEM.

José Vitor Bomtempo, da Escola de Química da UFRJ, apresentou uma palestra sobre a Bioeconomia, apontando os seus pontos-chave, inclusive aspectos que nem sempre são levados em consideração, como as adaptações necessárias no modelo de negócios. Ele apresentou vários casos de empresas que atuam na área e analisou as suas trajetórias nos últimos anos.

O evento contou com um curso e várias oficinas, como a de Queli Aparecida Passos e Tiago Averso, sobre experimentos de Química Verde em todos os níveis de educação, apresentados através de vídeos.

Nota do editor:

O Caderno de Química Verde agradece à Silmara Furtado da ACS UFRJ Student Chapter pelas informações



Expediente:

O Caderno de Química Verde é uma publicação da Escola Brasileira de Química Verde com o objetivo de divulgar matérias de interesse, fatos, entrevistas e notícias ligadas ao setor, que apontem a sustentabilidade dos processos envolvidos.

Editor Responsável:
Peter Rudolf Seidl.

Consultor Senior:
Celso Augusto Caldas Fernandes.

Contato:
quimicaverde@eq.ufrj.br
É permitida a reprodução de matérias desde que citada a fonte.
Os textos assinados são de responsabilidade de seus autores.

Conselho de Redação:
Estevão Freire, Julio Carlos Afonso,
Rafaela Nascimento Martins.

Diagramação e arte:
Adriana dos Santos Lopes.

PIONEIROS DA QUÍMICA

Oswaldo de Almeida Costa

Nasceu em Campo Grande, zona rural do Distrito Federal, em 15 de fevereiro de 1898. Era filho de Manoel Almeida Costa e de Francisca Caldeira de Alvarenga Costa. Formado em Farmácia pela Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro (1917), começou sua carreira com uma farmácia no interior. Em 1925, classificou-se em 1º lugar no concurso de admissão de químico no Laboratório Bromatológico do Departamento Nacional de Saúde Pública. Em paralelo, iniciou sua carreira docente, como professor interino de química bromatológica e toxicológica (1925-1930) e professor de química analítica (1929) na Escola de Medicina e Cirurgia. Em 1933, foi admitido como professor da cadeira (disciplina) de farmacognosia da Escola de Farmácia anexa à Faculdade de Medicina da Universidade do Rio de Janeiro, onde permaneceu até sua aposentadoria na já Faculdade Nacional de Farmácia da Universidade do Brasil. Isso o obrigou a deixar o Laboratório Bromatológico quando teve de fazer a opção por uma das funções que exercia. Nesse laboratório, Oswaldo se notabilizou pelas análises químicas de toda uma variedade de produtos, destacando-se as saponinas, glicosídeos presentes em alimentos e bebidas, especialmente as espumantes. Eram motivo de preocupação nos laboratórios bromatológicos desde o início do século XX por serem de natureza tóxica, sendo condenadas pelo Código Bromatológico Brasileiro. O trabalho “Estudo da pesquisa das saponinas”, apresentado no Primeiro Congresso Brasileiro de Química por Oswaldo descreve a presença de saponinas em cervejas produzidas no Rio de Janeiro, e cuja origem estava no lúpulo utilizado na produção da bebida. Era um fato desconhecido até então. Esse trabalho foi referência por décadas na área de alimentos e nutrição.

Oswaldo foi membro de comissões examinadoras de concursos realizados na Faculdade Nacional de Farmácia e em outras instituições em diversos estados da federação.

Publicou muitos trabalhos originais sobre plantas nativas com virtudes medicinais e outras até alucinógenas,



Oswaldo Costa

algumas de uso entre os índios brasileiros, envolvendo aspectos de botânica, histologia, físico-química e farmacologia. A qualidade de suas pesquisas o colocam entre os grandes pesquisadores da primeira metade do século XX, chegando a ser chamado pelos colegas da classe farmacêutica como o “príncipe da farmácia”. Atuou em revisões da Farmacopeia Brasileira. Em 1937, foi eleito para a Academia Nacional de Medicina.

Por sua atuação acadêmica (ensino e pesquisa), Oswaldo de Almeida Costa recebeu em 1958 o título de Professor Emérito da Universidade do Brasil, atual Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Foi sócio e membro ativo da Sociedade Brasileira de *Chimica*, da qual foi cofundador e presidente (1938-1939), da Associação Brasileira de Farmacêuticos, onde ocupou vários cargos, e sócio fundador da Sociedade Brasileira da História da Farmácia. Foi sócio correspondente da Sociedade de Farmácia e Química de São Paulo, da Asociación Química Argentina e da Real Academia de Farmácia de Madrid; membro titular da Academia Nacional de Medicina, da Academia de Medicina e Farmácia Militar, e sócio honorário da *Asociación Escuela de Química y Farmácia de La Universidad Central do Ecuador*; membro correspondente da *Société de Chimie Biologique de Paris*, da *Association of Official Registering Chemists* e da *American Pharmaceutical Association*. Recebeu ainda o diploma de “Honra ao Mérito” e a “Medalha Comemorativa” dos 350 anos de fundação da Venerável Ordem Terceira de São Francisco da Penitência. Faleceu a 20 de maio de 1983, no Rio de Janeiro, aos 85 anos.

BIBLIOGRAFIA

<https://www.anm.org.br/oswaldo-de-almeida-costa/>. Acesso: 7 de janeiro de 2021.

O farmacêutico do mês – Oswaldo de Almeida Costa. A Gazeta da Farmácia, Rio de Janeiro, ano XIII, n. 146, junho de 1944, p. 2.

Cartas - Mestre emérito. Jornal do Brasil, Rio de Janeiro, ano XCIII, n. 61, 8 de junho de 1983, p. 10.

PIONEIROS DA QUÍMICA

Álvaro de Bittencourt Carvalho

Sua carreira militar começou muito cedo. Em 1903 já era soldado do Exército Brasileiro. Em seguida, foi aluno da Escola de Engenharia e Artilharia, em Realengo, região da Zona Rural do Distrito Federal, e da Escola Militar. Formou-se em engenharia e especializou-se em química de guerra. Transferido para Fortaleza, em 1921, atuou no Colégio Militar do Ceará como professor de física e de química após prestar concurso, desligando-se do Ministério da Guerra. Voltou a Niterói em 1922. Foi professor no Colégio Santa Rosa, mas antes de sua ida à capital cearense, já atuara em outras escolas na capital fluminense.

Álvaro Bittencourt de Carvalho se notabilizou por seu trabalho apresentado no 1º Congresso Brasileiro de Química, em novembro de 1922: “A química: nova arma de guerra”. Era um assunto muito delicado naquela época devido ao emprego recente de substâncias tóxicas como arma de guerra (dicloro, fosgênio, lewisita, “gás mostarda” etc.) na I Guerra Mundial, que acabara quatro anos antes do Congresso de Química. Muitos de seus impactos perduravam na memória e na vida das pessoas daquele tempo. A notícia do uso de armas químicas (na época, “gases asfixiantes”) causou perplexidade e horror na opinião pública em geral, levando, dentre outras consequências, a criação da IUPAC, em 1919, e o estabelecimento do Protocolo de Genebra, em 17 de abril de 1925. Em um esforço diplomático internacional, buscava-se limitar a proliferação e o uso das armas “de destruição em massa”. O Protocolo previa a proibição do uso, mas não a posse, de armas químicas. Ele só se aplicava aos países signatários e não continha a previsão de sanções para quem o violasse. Além disso, alguns países não o assinaram, como os Estados Unidos, enquanto outros o fizeram com ressalvas.

No desenrolar das Sessões da Terceira Comissão do Primeiro Congresso Brasileiro de Química e nas Sessões Plenárias, o interesse pela química relacionada à guerra era evidente. Havia naquela época uma preocupação dos militares brasileiros com a iminência de outra guerra em

grande escala, e o Brasil precisava estar preparado para um evento dessa magnitude. Segundo Álvaro de Bittencourt Carvalho, para tal, era necessário direcionar os profissionais da química para prestarem um serviço militar especificamente voltado à área científica, permitindo a organização de uma indústria química voltada para a defesa nacional. Tal clima era motivado pela instabilidade política em grande parte do mundo. Cláusulas abusivas do Tratado de Versalhes, crises socioeconômicas, disputas por influência comercial, ressentimentos dos países perdedores da I Guerra e a ascensão de regimes totalitários (nazismo, fascismo, stalinismo) acabaram, ao longo das décadas de 1920 e 1930, suscitando guerras localizadas, às vezes sangrentas, como a Guerra Civil Espanhola (1936-1939), a invasão da Abissínia (atuais Etiópia e Eritreia) pela Itália (1935-1936) e a invasão da China pelo Japão (1937-1945). Em suma, uma das consequências do período logo após a I Guerra Mundial foi a II Guerra Mundial.

Em dezembro de 1922, Álvaro de Bittencourt Carvalho publicou seu trabalho como um livreto. A imprensa reconheceu que tal obra era de grande importância porque chamava a atenção para o valor da contribuição da química no aparelhamento militar do país. O autor frisava que *devemos não nos esquecer nunca que a defesa nacional é função direta e imediata dos recursos químicos de que o Brasil possa sempre dispor*, sendo reconhecido que a garantia de suprimento é vital na indústria de guerra, *a química é a alma dos exércitos*.

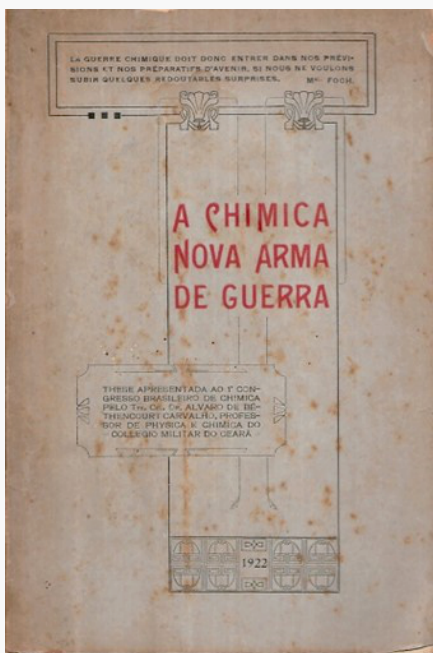
Ele recordou a frase do Marechal Ferdinand Jean Marie Foch (1851-1929), que teve atuação marcante na I Guerra Mundial: *a guerra química deve entrar em nossas previsões, em nossos preparativos de futuro, se não quisermos sofrer algumas formidáveis surpresas*. Por isso, a imprensa destacou que o autor recomendava a organização dos quadros do serviço químico militar, o aperfeiçoamento do ensino químico, o balanço dos nossos recursos, a superintendência das indústrias transformáveis em indústrias de guerra, o aproveitamento

das quedas d'água, a criação de grandes indústrias químicas, a ajuda das pesquisas, a aquisição das invenções etc. Dois anos depois, a íntegra do trabalho de Álvaro e o seu parecer, de autoria de Álvaro Alberto da Mota e Silva (1889-1976) eram publicados na Revista Marítima Brasileira, periódico da Marinha do Brasil.

A trajetória de Álvaro de Bittencourt Carvalho reservaria uma decisão corajosa em um evento pouco conhecido e hoje praticamente relegado ao esquecimento. No curso da chamada Revolta Paulista (julho de 1924), as lideranças revoltosas exigiam, dentre outros pontos, a renúncia do Presidente Arthur da Silva Bernardes (1875-1955) e a implantação de reformas governamentais. Em resposta, as tropas legalistas (leais ao presidente e ao governador do Estado, Carlos de Campos – 1866-1927) bombardeavam São Paulo pelo ar. Por sugestão do Almirante Alexandrino Faria de Alencar (1848-1926), Arthur Bernardes estava decidido a lançar fôsgênio sobre a população. Como a produção dependia do então Coronel Álvaro, este reagiu enérgica e vigorosamente, opondo-se àquele ato de selvageria de guerra. Sua resistência sobre-humana às pressões do Governo e de seus superiores obrigou Arthur Bernardes a recuar da ideia. Por ocasião de sua morte, em 7 de maio de 1928, com cerca de 55 anos, a Câmara dos Deputados aprovou um voto de pesar, relembrando o ato, tido como heroico, salvando a capital paulista e o país de uma tragédia de proporções imprevisíveis: uma população despreparada, autoridades

sem planos de socorro naquela emergência, nem equipamentos e máscaras para assistir aos atingidos pela nuvem mortal.

Foi o maior conflito urbano do Brasil, que terminou com a vitória das tropas legalistas depois de 23 dias de combates e mais de 500 mortos.



"A química: nova arma de guerra", de dezembro de 1922, um mês após o 1º Congresso Brasileiro de Química

BIBLIOGRAFIA

- Exército*. Correio da Manhã, Rio de Janeiro, ano III, n. 668, 10 de abril de 1903, p. 2.
- Escola de Artilharia e de Engenharia*. O Paiz, Rio de Janeiro, ano XXV, n. 8957, 13 de abril de 1909, p. 2.
- Guerra*. A Imprensa, Rio de Janeiro, ano X, n. 1955, 11 de dezembro de 1913, p. 4.
- A ginástica e o esporte nas instituições de ensino militar em Fortaleza*. Educare – Revista Científica do Colégio Militar de Fortaleza. 2011, ano III, n. 3, p. 19.
- Concurso no Collegio Militar*. O Paiz, Rio de Janeiro, ano XXXVII, n. 13360, 19 de maio de 1921, p. 6.
- Ministério da Guerra*. O Paiz, Rio de Janeiro, ano XXXVII, n. 13540, 15 de novembro de 1921, p. 5.
- ANNUNCIOS – Tenente-Coronel Álvaro B. de Carvalho*. O Fluminense, Niterói, ano 51, n. 13856, 3 de junho de 1928, p. 2.
- SILVA, Gustavo Rocha; BORGES Jr., Itamar; VILLAR, José Daniel Figueroa; CASTRO, Alexandre Taschetto de. *Defesa química: histórico, classificação dos agentes de guerra e ação dos neurotóxicos*. Química Nova, 2012, v. 35, n. 10, p. 2083-2091.
- A Allemanha preparada para uma nova guerra? Os cientistas estudam os gases asphyxiantes*. Gazeta de Notícias, Rio de Janeiro, ano XLVIII, n. 60, 13 de março de 1923, p. 2.
- A guerra chimica*. O Paiz, Rio de Janeiro, ano XLII, n. 15113, 7 de março de 1926, p. 5.
- A guerra e a chimica*. Revista da Semana, Rio de Janeiro, ano XXIV, n. 24, 9 de junho de 1923, p. 16.
- Livros Novos - Tenente-Coronel Dr. Álvaro de Bittencourt Carvalho — A Química — Nova Arma de Guerra — 1922*. Jornal do Commercio, Rio de Janeiro, ano 96, n. 343, 12 de dezembro de 1922, p. 3.
- A chimica, nova arma de guerra*. O Fluminense, Niterói, ano 45, n. 12171, 13 de dezembro de 1922, p. 1.
- CARVALHO, Álvaro de Bittencourt. *A chimica – nova arma de guerra*. Revista Marítima Brasileira, 1924, ano XLIII, n. 7, p. 495-524.
- A legalidade restabelecida*. Correio Paulistano, São Paulo, n. 21911, 29 de julho de 1924, p. 1-2.
- Um grande homem esquecido. São Paulo deve-lhe o não ter sido asphyxiada pelas tropas bernardescas*. Diário Nacional, São Paulo, ano I, n. 268, 23 de maio de 1928, p. 12.
- ASSUNÇÃO, Moacir. *São Paulo deve ser destruída: A história do bombardeio à capital na revolta de 1924*. São Paulo: Record, 2015, 336 p.
- Tópicos e notícias*. Correio da Manhã, Rio de Janeiro, ano XXVII, n. 10236, 23 de maio de 1928, p. 4.
- Tópicos e notícias*. Correio da Manhã, Rio de Janeiro, ano XXVII, n. 10235, 22 de maio de 1928, p. 4.
- A Câmara, afinal, começou a trabalhar*. Correio da Manhã, Rio de Janeiro, ano XXVII, n. 10236, 23 de maio de 1928, p. 5.
- É humano ou desumano o uso de gases asphyxiantes pelos exércitos?* Correio da Manhã, Rio de Janeiro, ano XXVII, n. 10142, 3 de fevereiro de 1928, p. 1 e 5.

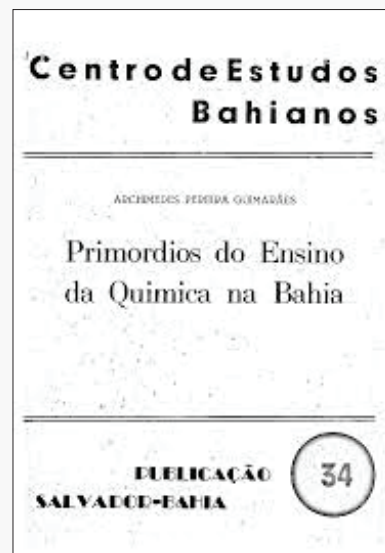
PIONEIROS DA QUÍMICA

Archimedes Pereira Guimarães

Filho de José Pereira Guimarães e Zulmira Pereira Guimarães, Archimedes nasceu em Campinas em 14 de julho de 1894. Ainda criança, mudou-se para Santos onde fez o ensino primário. Foi para São Paulo cursar o ginásio. Em 1912 era aluno da Escola Politécnica daquela cidade, formando-se em dezembro de 1917 como engenheiro mecânico-eletricista com excelente aproveitamento acadêmico. Archimedes viajou à América do Norte, onde trabalhou e completou a sua formação acadêmica. Trabalhou como auxiliar químico nos Laboratórios da *Deaborn Chemical Company* de Chicago.

Logo após participar do Primeiro Congresso Brasileiro de Química, onde apresentou o trabalho "Algumas notas sobre os cursos de química nos Estados Unidos", ingressou como docente do curso de química industrial da Escola Superior de Agricultura e Medicina Veterinária, mas em 1923 se transferiu para Salvador, onde foi catedrático de química tecnológica na Escola Politécnica da Bahia (1923 a 1939), e Diretor do Instituto de Tecnologia da Bahia de 1946 a 1961. Foi ainda Diretor da Instrução Pública (1929-1931), secretário da Agricultura, Indústria e Comércio, secretário da Fazenda, sócio benemérito e presidente da Fundação para o Desenvolvimento da Ciência, sócio do Instituto Geográfico e Histórico da Bahia, diretor da Escola Agrícola (1932-1935), vice-presidente da Associação Brasileira de Educação (1934-1935), diretor da Escola Politécnica (1939-1944), diretor interino da Faculdade de Filosofia (1942-1944), diretor do Instituto de Tecnologia da Bahia (1949-1959), membro do Conselho Diretor da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (1957-1965), presidente da Associação Baiana de Educação, da Associação Cultural Brasil-Estados Unidos, e do Conselho

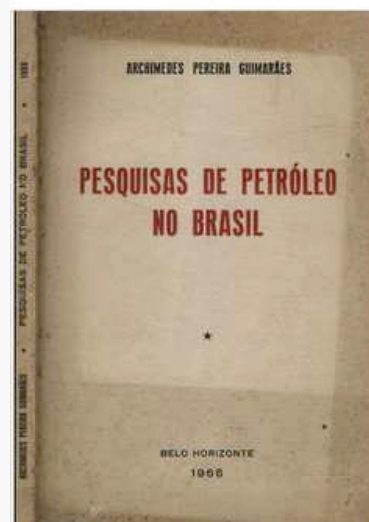
Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia da 3ª Região. Archimedes exerceu ainda, em Salvador, na década de 1930, o magistério da química em instituições privadas de ensino secundário, como o Ginásio Ypiranga.



Archimedes foi parceiro de Anísio Teixeira nas reformas do ensino na Bahia na primeira metade do século XX. Tinha particular preocupação com as questões de nomenclatura química.



Algumas das obras de autoria de Archimedes Guimarães



Ajudou na implantação de um Instituto de Química Industrial em Aracaju, então governado por Maurício Graccho Cardoso (1874-1950), que fora também professor na Escola Superior de Agricultura.

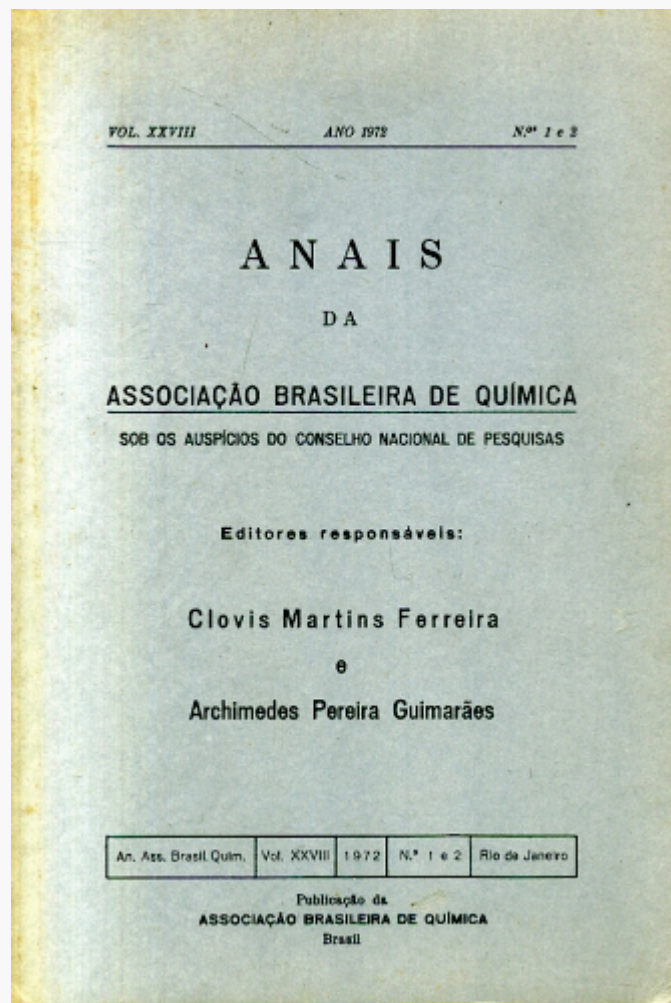
Pesquisador extremamente ativo, Archimedes legou uma ampla produção bibliográfica, que abrange áreas diversificadas do conhecimento na forma de artigos de jornal, artigos e notas em periódicos científicos, livros e obras literárias. Exemplo disso são os 22 artigos que publicou na Revista de Química Industrial entre 1957 e 1967, versando sobre as mais variadas áreas da química, incluindo a história da química no Brasil. Muitos desses artigos eram de seu “Curso de Química Tecnológica”, também publicado na Revista Brasileira de Química, de São Paulo. Em seu tempo, Archimedes foi muito influente em seu meio, transitando em muitas áreas diferentes e tinha contato com as autoridades públicas da época.

Participou de várias associações científicas, incluindo a Sociedade Brasileira de *Chimica* (SBCh), a Associação Brasileira de Educação, a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, a Associação Baiana de Educação, o Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia da 3ª Região, a Associação Química do Brasil (AQB) e a Associação Brasileira de Química (ABQ). Nestas duas últimas, foi muito atuante na regional Bahia e na editoração dos Anais da ABQ. Além de participar de congressos promovidos pela AQB e pela ABQ, fez-se presente no 2º Congresso Brasileiro de Química e no III Congresso Sul-Americano de Química, ambos promovidos pela SBCh em 1937, na área de educação.

Foi casado com Ana Maria Selmi Guimarães (1908-1981), com quem teve quatro filhos. Foi assassinado em casa, juntamente com sua filha Mafalda, em Belo Horizonte, em 7 de julho de 1984.

BIBLIOGRAFIA

NASCIMENTO, Jorge Carvalho do. *O engenheiro e o memorialista: Archimedes Pereira Guimarães e a química como visão de mundo*. Anais do V Congresso Brasileiro de História da Educação. Aracaju, Universidade Federal de Sergipe/Universidade Tiradentes, 2008, 15 p.
<http://www.arquivohistorico.poli.usp.br/index.php/>



Anais da ABQ na qual Archimedes é um dos Editores (1972)

archimedes-barreto-pereira-guimaraes (Dossiê 417). Acessado em 17 de maio de 2021.

BARBOSA, Esther Augusta Nunes. *A revista infância excepcional (1933 – 1979): uma contribuição para a história da educação especial*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, 2019, 168 p.

Índice Biográfico de Sócios da Associação Brasileira de Química, 3ª edição. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Química, 1957, p. 74.

Índice Biográfico de Sócios da Associação Química do Brasil, 2ª edição. Rio de Janeiro: Associação Química do Brasil, 1943, p. 57-59.

Nota do Editor

Os trabalhos de Archimedes Pereira Guimarães publicados nesta revista podem ser acessados a partir do índice de autores (www.abq.org.br/rqi/RQI-lista-por-autores.pdf)

PIONEIROS DA QUÍMICA

Djalma Hasselmann

Nascido no Rio de Janeiro em 22 de agosto de 1892, era filho de José Frederico Hasselmann e Ernestina Pedreira. Ingressou na Escola Politécnica em 1910, mas somente concluiu o curso de engenharia civil em janeiro de 1919. Em paralelo, já atuava em estabelecimentos de ensino, como na Escola (Superior) de Agricultura anexa ao posto zootécnico de Pinheiral (1912-1917) e no Ginásio Brasileiro (1917). Em 1917, foi nomeado pelo Ministro da Agricultura auxiliar do laboratório de química do Serviço de Fiscalização da Manteiga, e logo a seguir incorporado ao Instituto de Química Agrícola do Jardim Botânico (1918), onde atuou até a década de 1930.

Participou do 1º Congresso Brasileiro de Química, apresentando os trabalhos “Composição das águas de chuva no Distrito Federal” e “Poudrette do Distrito Federal”, ambos publicados, respectivamente, em 1929 e 1931 na Revista Brasileira de Química, o primeiro periódico da área do país. Djalma Hasselmann foi um dos sócios-fundadores da Sociedade Brasileira de Química.

Entretanto, sua vida foi principalmente pautada pela atuação na área de ensino. Foi professor do Colégio São Bento (1927) e da Escola Normal (nomeado em 1931), mais tarde rebatizado como Instituto de Educação (atualmente, é o Instituto Superior de Educação do Rio de Janeiro). Naquela época, seus livros (cartilhas) de química eram muito populares no ensino secundário (médio). Elaborou ainda materiais didáticos para demonstração e estudo pelos alunos. Em dezembro de 1939, por Decreto do Presidente Getúlio Dornelles Vargas (1882-1954), Djalma Hasselmann foi alocado na recém-criada Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil, assumindo as disciplinas de química geral e inorgânica e química analítica. Ocupou a Vice-Diretoria e a Diretoria da Faculdade, e mais tarde, a chefia do Departamento de Química. Seu amor ao ensino e a busca de métodos para aprimorá-lo eram reconhecidos pelos seus pares e alunos. Em 14 junho de 1950, aposentado, em cerimônia solene, foi-lhe concedido o título de Professor Emérito da Universidade do Brasil.

Casou-se em 1912 com Lídia Melo Azevedo Silva, com quem teve sete filhos, um dos quais era Sylvia Hasselmann (1913-1997), a primogênita, formada em

medicina pela então Universidade do Rio de Janeiro (1935), atual Universidade Federal do Rio de Janeiro. Faleceu em 1º de dezembro de 1982, aos 90 anos.

BIBLIOGRAFIA

Vida acadêmica – Escola Polytechnica. Correio da Manhã, Rio de Janeiro, ano IX, n. 3180, 2 de abril de 1910, p. 3.

Colação de grão. O Imparcial, Rio de Janeiro, ano IX, n. 1208, 25 de janeiro de 1919, p. 5.

Agricultura. A Imprensa, Rio de Janeiro, ano IX, n. 1757, 24 de outubro de 1912, p. 5.

Gimnasio Brasileiro. O Abecê... Rio de Janeiro, ano I, n. 1, 6 de outubro de 1917, p. 4.

Portarias. Gazeta de Notícias, Rio de Janeiro, ano XLII, n. 18, 18 de janeiro de 1917, p. 2.

Instituto de Chimica. Almanaque Laemmert para 1918, 74º ano, Rio de Janeiro, 1918, parte I, p. 791.

Escola Normal. Almanaque Laemmert para 1925, 81º ano, Rio de Janeiro, 1925, v. I, p. 762.

Nomeações de docentes para a Escola Normal. A Batalha, Rio de Janeiro, ano III, n. 372, 24 de março de 1931, p. 2.

Muzeus Escolares. A Escola Primária, Rio de Janeiro, ano XIX, n. 3, junho de 1935, p. 56-59.

Atos do governo. Jornal do Brasil, Rio de Janeiro, ano XLIX, n. 299, 19 de dezembro de 1939, p. 5.

Decretos assignados. O Imparcial, Rio de Janeiro, ano V, n. 1405, 19 de dezembro de 1939, p. 2.

Decretos assinados em diversas pastas. Correio da Manhã, Rio de Janeiro, ano XLIV, n. 15490, 4 de maio de 1945, p. 2.

MASSENA, Elisa Prestes; SANTOS, Nadja Paraense dos. *O Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, da pós-graduação à incorporação dos cursos de graduação: uma perspectiva histórica.* Química Nova, 2009, v. 32, n. 8, p. 2238-2248.

Concessão do título de professor emérito. Diário de Notícias, Rio de Janeiro, ano XX, n. 8478, 13 de junho de 1950, p. 12.



Exemplos de quadros demonstrativos de metais da tabela periódica elaborados pelo Prof. Djalma Hasselmann. De cima para baixo: mineral donde é extraído; formas de apresentação do metal e aplicações como metal puro ou ligas e seus compostos. Acervo Museológico dos Laboratórios de Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

PIONEIROS DA QUÍMICA

Carlos Ernesto Júlio Lohmann

Carlos Ernesto Júlio Lohmann (no original, Karl Ernest Julius Lohmann) nasceu em 3 de julho de 1873 Arnhem, Holanda. Era filho de Wilhelm Gottlieb Cristian Lohmann e Christine Lucie Bertha Schreiber. Formado em química, veio para o Brasil por volta de 1904 a convite do Ministro Miguel Calmon Du Pin e Almeida para implantar o cultivo do chá na Bahia. Em seguida, veio para o Rio de Janeiro, vindo a trabalhar no Museu Nacional (1910-1916). Chefiou o laboratório de química vegetal, que ele próprio ajudou a montar e equipar com o que havia de mais moderno na época. Em 1916, por designação do Ministro da Agricultura, Indústria e Comércio, Carlos Lohmann foi deslocado para a Estação Geral de Experimentação de Escada, Estado de Pernambuco.

Em 1918, mediante concurso e classificado em 1º lugar, ingressou na Escola Politécnica do Rio de Janeiro, assumindo a cadeira (disciplina) de química inorgânica descritiva e analítica. Naturalizou-se brasileiro. Permaneceu até 1941, quando se aposentou. Na época das comemorações do cinquentenário de fundação da Escola (1924), Carlos Lohmann era dos raros membros do corpo docente que não era ex-aluno do estabelecimento.

Sua principal atuação na Escola foi por ocasião da implementação do curso de química industrial, em 1920: entusiasta do projeto, logo foi alçado à condição de coordenador do curso, permanecendo até a sua extinção em 1930. Demonstrava orgulho por ter sido personagem ativo na formação dos químicos industriais pioneiros no país. Desde antes, granjeava admiração dos alunos por sua cultura e pelo reconhecimento da importância da química no desenvolvimento do país. Seus trabalhos técnicos e científicos eram respeitados pelos seus pares e requisitados pelo poder público ou indústrias: qualidade do açúcar, chás, mel e outros produtos de origem animal ou vegetal. Participou da Primeira Comissão (*Questões*

referentes à difusão da química no Brasil – Questões diversas, a química no estrangeiro – Questões de química pura) do Primeiro Congresso Brasileiro de Química.

Em paralelo ao seu trabalho na Escola Politécnica, Carlos Lohmann escreveu comentários sobre trabalhos de renomados professores do Colégio Pedro II. Notabilizou-se como consultor do Instituto da Propriedade Industrial, envolvendo análise e concessão de patentes nas mais variadas áreas do conhecimento, com foco em química industrial. Pelos relevantes serviços prestados ao Brasil, recebeu uma carta de agradecimento do Presidente Getúlio Dornelles Vargas (1882-1954).

Antes de vir para o Brasil, Carlos Lohmann casou-se com Louise Schepper (1874-1957), com quem teve três filhos: Helena Lohmann, Júlio Otto Theodoro Lohmann e Alberto Amadeu Lohmann, os dois últimos nascidos no Brasil.

Carlos Lohmann faleceu em 14 de novembro de 1945, em desastre de automóvel no Rio de Janeiro, aos 72 anos, estando sepultado no jazigo da família no cemitério de São João Batista em Botafogo, bairro da zona sul da cidade.

BIBLIOGRAFIA

- ⇒ Relatório apresentado ao Presidente da República dos Estados Unidos do Brasil por D. Pedro de Toledo, Ministro de Estado da Agricultura, Indústria e Comércio no ano de 1912. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 1914, p. 95-102.
- ⇒ *Designação de um adido*. O Imparcial, Rio de Janeiro, n. 1203, 19 de abril de 1916, p. 6.
- ⇒ *Os concursos das Escolas de Medicina, Polytechnica e do Colégio D. Pedro II*. Correio da Manhã, Rio de Janeiro, n. 7079, 15 de julho de 1918, p. 8.
- ⇒ *Qual é o melhor açúcar? É a sciencia, com a analyse chimica, quem responde*. O Paiz, Rio de Janeiro, n. 13495, 1º de outubro de 1921, p. 7.
- ⇒ *Um dia de jubilo para a sciencia brasileira*. A Noite, Rio de Janeiro, n. 4458, 23 de abril de 1924, p. 6.
- ⇒ <http://basearch.coc.fiocruz.br/index.php/julio-lohamann>. Acesso em 18 de agosto de 2021.
- ⇒ <https://capefgenealogia.com.br/familia-lohmann/>, acessado em 18 de setembro de 2021.

53ª Olimpíada Internacional de Química

Equipe brasileira mantém 100% de aproveitamento

A Olimpíada Internacional de Química (IChO, de International Chemistry Olympiad) realizou a sua 53ª edição este ano; é uma competição que acontece desde 1968, e envolve os mais talentosos estudantes de Química do mundo.

Neste ano, 79 países selecionaram até quatro alunos para que testassem seus conhecimentos e habilidades em Química em um exame teórico feito de forma remota. Outros seis países atuaram como observadores: Afeganistão, Equador, Egito, Kuwait, Nepal e Paraguai. Como no ano passado, em decorrência da pandemia da COVID-19, não houve exame prático. A 53ª IChO foi organizada no Japão. 312 alunos participaram do certame. A prova foi aplicada em 28 de julho e o resultado publicado em 2 de agosto.

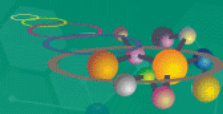
Pelo quarto ano consecutivo, todos os quatro brasileiros foram premiados: uma medalha de prata para Vinícius da Silveira Lanza Avelar, e três medalhas de bronze para Cássia Caroline Aguiar da Ponte, Hana Gabriela Albuquerque Sousa e Marina Malta Nogueira.

O desempenho do Brasil no continente americano só foi superado pela equipe dos Estados Unidos. O caminho enfrentado pelos membros da equipe brasileira até chegar à etapa internacional foi árduo. Além de uma rotina intensa de dedicação e estudos, tiveram que passar por disputas estaduais e por uma final nacional na Olimpíada Brasileira de Química. Os estudantes também fizeram um curso preparatório no Instituto de Química da Universidade de São Paulo e, por fim, se classificaram como os quatro melhores do país.

SOMOS MEDALHISTAS OLÍMPICOS!



PARABÉNS À EQUIPE BRASILEIRA
DA ICHO NO JAPÃO!



A equipe brasileira na 53ª Olimpíada Internacional de Química, que manteve 100% de aproveitamento

Fonte: Conselho Federal de Química

O aumento da participação feminina foi comentada pelo coordenador geral da Olimpíada Brasileira de Química (OBQ), professor Sérgio Melo. “Há anos estamos lutando para ter, pelo menos, um número igual de meninos e meninas disputando as olimpíadas, seguindo o padrão de distribuição da população brasileira”. Nos torneios nacionais e regionais, a participação feminina que estava em torno de 30% cresceu no último ano para 55%, segundo ele.

Para a estudante do 3º ano do ensino médio em Fortaleza (CE), Hana Gabriela, de 17 anos, a paixão pela química começou no fim do Ensino Fundamental II, quando se deparou com uma questão de estequiometria (cálculos da quantidade de reagentes e/ou produtos de uma reação química). “Me impressionei muito com um exercício que pedia para calcular a quantidade de moléculas de glicose presentes em duas colheres de açúcar”. Hana diz que sua rotina de estudos era simples: revezava o tempo entre os momentos de prestar atenção nas aulas durante a semana com períodos de lazer, geralmente a partir de sexta-feira à noite. “Uma coisa que aprendi na seletiva da olimpíada é que pessoas não são máquinas, por maior que seja a sua determinação você tem que ter períodos de descanso”, comenta. Quando descobriu que havia sido uma das medalhistas, a estudante sentiu uma sensação de dever cumprido misturado com felicidade e alívio. O processo de preparação de Hana até a etapa internacional levou cerca de dois anos e meio. “Não me vejo nessa posição sem reconhecer o apoio que recebi dos meus pais e professores. Finalmente atingi o meu sonho”, afirma.

Já Cássia lembra que sempre teve em mente metas altas, como a conquista de um ouro. Mas depois de ter feito a prova, que ela própria achou mais complicada em relação aos outros anos, diminuiu a expectativa para o resultado. “Mesmo que eu não ganhasse medalha, tinha usado todas as minhas energias na prova. Então, sabia que tinha feito a minha parte e dado o meu máximo. No final, fiquei muito contente com o bronze. Estou aguardando ansiosamente pelo recebimento da minha tão esperada medalha”, comemora. Ela se prepara para exames como ITA, IME e ENEM. Mas Cássia já tem certeza que a Química estará sempre guardada num lugar muito especial. “A experiência

que obtive com as Olimpíadas, com certeza, me tornou uma pessoa e uma estudante melhor hoje. Mesmo que eu não curse Química, vou procurar sempre estar atualizada nessa Ciência”.

Para Vinícius, não é diferente. Ele se considera vitorioso após todo o esforço e reconhece que não teria chegado ao pódio sem apoio. “Foi uma longa jornada, e finalmente colhi os frutos de todo meu estudo ao longo desses três anos me dedicando às Olimpíadas. Estou muito feliz de ter conquistado essa medalha, e ver que todo o esforço valeu a pena, tanto meu, quanto de todos os professores que me apoiaram no decorrer do caminho”. Sobre os planos para o futuro, ele já tem afazeres para o segundo semestre do ano. “Vou me dedicar ao processo de aplicação para universidades do exterior e aos projetos sociais para os quais contribuo, além da Olimpíada Ibero-americana de Química que ocorrerá em setembro [2021]”.

Um dos próximos desafios a ser vencido é melhorar os resultados dos estudantes de escolas públicas nas olimpíadas de química.

“A participação de escolas públicas tem sido boa, mas o resultado alcançado pelos alunos precisa se igualar ao dos estudantes de escolas privadas”, afirma o professor Sérgio Melo.

Parabéns a todos que representaram mais uma vez tão bem nosso país!!! A 54ª edição, em 2022, terá lugar na China, que emplacou este ano os quatro melhores resultados.

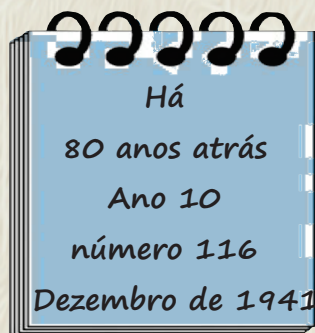
Notas do editor

⇒ O portal da Olimpíada Brasileira de Química é <http://www.obquimica.org/>.

⇒ Portais de interesse da Olimpíada internacional de Química: <http://www.ichosc.org/> e <https://www.facebook.com/InternationalChemistryOlympiad/>.

⇒ Fontes principais para esta matéria: <http://cfq.org.br/noticia/brasil-conquista-quatro-medalhas-na-olimpiada-internacional-de-quimica/>; <http://www.abiclor.com.br/brasil-ganha-4-medalhas-em-olimpiada-internacional-de-quimica-e-pela-primeira-vez-mulheres-sao-maioria-no-torneio/>.

Aconteceu na RQI ...



■ Alguns dados sobre a produção industrial do Brasil

<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-1940-1949.html> (clicar no número 116, p. 9)

■ Novos glucosídeos obtidos pela alcoólise do amido

<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-1940-1949.html> (p. 10-11)

■ Novos usos da proteína de milho

<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-1940-1949.html> (p. 11-12)

■ Métodos de análise química dos ferros fundidos e dos aços comuns e especiais

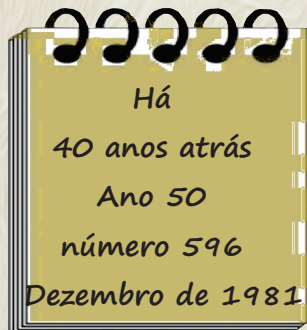
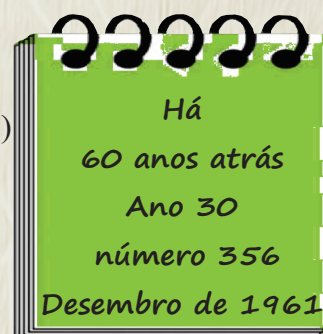
<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-1960-1969.html> (clicar no número 356, p. 11-19 e 22)

■ Produção e importação de inseticidas

<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-1960-1969.html> (p. 22)

■ Excursão de estudantes da Escola Superior de Química de Sergipe

<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-1960-1969.html> (p. 27)



■ As inovações tecnológicas e as transições na indústria química

<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-1980-1989.html> (clicar no número 596, p. 9)

■ A dieta e a química

<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-1980-1989.html> (p. 10-17)

■ O desafio tecnológico na empresa

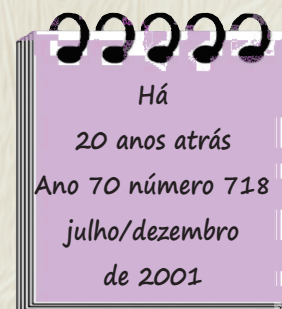
<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-1980-1989.html> (p. 20-24)

■ Produção científica versus mercado brasileiro

<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-2000-2009.html> (clicar no número 718, p. 4)

■ 80 anos de química

<http://www.abq.org.br/rqi/edicoes-2000-2009.html> (p. 7-9)



■ Energia solar

<http://www.abq.org.br/rqi/2014/769/RQI-769-pagina4-Energia-Solar.pdf>

■ Capitalismo em transe: inspiração para inovar!

<http://www.abq.org.br/rqi/2014/769/RQI-769-pagina37-Artigo-Tecnico.pdf>

■ O centenario da criação dos primeiros cursos de química industrial no Brasil

<http://www.abq.org.br/rqi/2014/769/RQI-769-pagina65-Artigo-Tecnico.pdf>

Estudo de caso: experimentações com o uso do processo fenton homogêneo

Case study: experiments with the use of the homogeneous fenton process

**Marluce Teixeira Andrade Queiroz*, Tayla Luiza Pereira Borges,
Claudinei Fernandes de Melo**

Centro Universitário Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste),
campus de Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil.

*marluce.queiroz@yahoo.com.br

Submetido em 14/04/2021; Versão revisada em 09/08/2021; Aceito em 23/08/2021

Resumo

A indústria têxtil exige o uso de corantes apropriados para atender à necessidade dos consumidores. Tal condição implica em produção de efluentes que se caracterizam pela sua resistência aos tratamentos convencionais e tempo de permanência elevado de compostos recalcitrantes no meio ambiente. Nesse cenário, esse trabalho analisou a aplicabilidade dos processos oxidativos avançados para favorecer a mineralização das águas residuais e em consequência a despoluição. O estudo de caso se referiu ao desenvolvimento de experimentações científicas relacionadas com a degradação do vermelho congo aplicando a técnica do Fenton Homogêneo para graduandos do curso de engenharia química do Unileste sendo apresentados os métodos utilizados e principais achados em relação à redução da cor e demanda química de oxigênio, dentre outros parâmetros físico-químicos. Além disso, retratou a avaliação dos educados em relação às experimentações sendo identificado a sua relevância para a apropriação e desenvolvimento dos conceitos químicos por parte dos educados.

Palavras-chaves: Indústria Têxtil. Fenton Homogêneo. Experimentação Científica.

Abstract

The textile industry requires the use of appropriate dyes to meet the needs of consumers. This condition implies the production of effluents that are characterized by their resistance to conventional treatments and a long residence time of recalcitrant compounds in the environment. In this scenario, this work analyzed the applicability of advanced oxidative processes to favor the mineralization of wastewater and, consequently, depollution. The case study referred to the development of scientific experiments related to the degradation of the Congo red applying the Fenton Homogeneous technique to undergraduate students of the chemical engineering course at Unileste, presenting the methods used and main findings in relation to color reduction and chemical demand of oxygen, among other physicochemical parameters. In addition, it portrayed the evaluation of the educated in relation to the experiments, and its relevance for the appropriation and development of chemical concepts by the educated was identified.

Keywords: Textile Industry. Homogeneous Fenton. Scientific Experimentation.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de cursos de graduação em engenharia química constitui-se em estratégia importante para fortalecer a sustentabilidade e competitividade do País (LACERDA *et al.*, 2002). Sendo assim, faz-se necessário que a formação acadêmica desses discentes possibilite o desenvolvimento de habilidades pertinentes à identificação dos problemas, avaliação das diferentes possibilidades para sua resolução, seleção e aplicação da melhor estratégia (LACERDA e ARAÚJO, 2014). Nesse contexto, é imprescindível que esse graduando adquira conhecimentos em relação à segurança ocupacional e preservação ambiental, sendo temas profundamente interligados. A assertiva é respaldada pela necessidade da aplicação da análise de risco que se constitui em instrumento contributivo para efetiva conservação do ecossistema (SETTI, 2002).

Pensando nisso, o Centro Universitário Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste) incluiu em sua grade curricular para a graduação superior a disciplina segurança e meio ambiente consubstanciando o domínio do egresso em relação às estratégias aplicáveis para mitigação dos transtornos relacionados com o desenvolvimento dos processos produtivos.

Nesse cenário, foi destacado o processo da indústria têxtil priorizando-se a etapa relacionada com o uso do corante. O referido composto químico é uma das matérias-primas sendo selecionado em função da natureza físico-química da fibra (substrato). Reforça-se, as condições de operação são fundamentais para se alcançar resultados satisfatórios, entretanto, ocorrem riscos ocupacionais e ambientais que demandam a sua mitigação visando à preservação dos ecossistemas naturais impactados (SOUZA, 20006).

Nessas indústrias, o efluente gerado apresenta alta concentração do corante (TWARDOKUS *et al.*, 2005) tendo características recalcitrantes ou refratárias. De modo geral, essas águas residuais podem afetar alguns organismos, como invertebrados e peixes, em função do efeito acumulativo na camada

lipídica, podendo atingir concentrações superiores ao Limite de Tolerância Biológico (LTB) (LEDAKOWICZ *et al.*, 2001). Gomes *et al.* (2018) relata que a nocividade é capaz de atingir os humanos, como resultado da bioconcentração e biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. As consequências podem incorporar os efeitos cancerígenos, mutagênicos e morte (PEREIRA *et al.*, 2014).

Neste contexto, o desenvolvimento de técnicas de tratamento que garantam alta eficiência na degradação de poluentes recalcitrantes, tal como, os corantes com atenção também direcionada aos aspectos econômicos, cresceu nos últimos anos. No atendimento destes quesitos se destacam os Processos Oxidativos Avançados (POA).

Molinari *et al.* (2002) e Paula *et al.* (2018) relatam que os POA são considerados como tecnologias limpas, pois não há formação de lodo e transferência de fase dos poluentes, sendo os produtos finais, gás carbônico, água, íons inorgânicos e subprodutos menos tóxicos. Os pesquisadores relatam que estes processos podem, ainda, ser utilizados para a degradação de compostos orgânicos, tal como os corantes, em fase aquosa ou adsorvidos numa matriz sólida com repercussões positivas para a contenção dos efeitos deletérios ao meio ambiente.

Existe uma grande variedade de tipologias com aplicação dos POA, nessa pesquisa, abordou-se a aplicação de um tipo de POA conhecido como Fenton Homogêneo que pode ser vantajoso para a despoluição de águas residuais contendo corantes, uma vez que sua implementação em Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEIs) já existentes pode ser considerada relativamente simples por não demandar de grandes alterações sendo fator importante para a redução dos custos de implantação (ANDREOZZI, D'APUZZO E MAROTTA, 2002).

Desse modo, o estudo de caso foi direcionado para a degradação de um tipo de corante, sendo o Vermelho do Congo (VC). A relevância deste trabalho se traduz em apresentar atividades experimentais aplicáveis no ensino das ciências compartilhando

resultados sobre a cinética da decomposição química do VC, remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e cor em contexto acadêmico estreitando a relação com a vivência prática. De modo geral, a inclusão desse método de ensino contribui positivamente para o desenvolvimento do pensamento crítico, domínio técnico e criatividade do educado (CARVALHO, 2014).

Entende-se a relevância desse estudo também por apresentar e reunir informações relativas à ótica dos acadêmicos em relação às estratégias de ensino adotadas colocando-os como protagonistas efetivos no sistema educativo, integrando ao ensino universitário, novos conceitos, desse modo, contribuindo para a melhor qualificação no processo de formação do indivíduo (SORDI *et al.*, 2020).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O processo produtivo têxtil constitui-se basicamente por cinco etapas (Figura 1), sendo a primeira a fiação onde ocorre a obtenção do fio, tendo como matéria-prima fibras naturais e/ou manufaturadas (REIS e REVELLO, 2008). Em seguida, o fio pode ser enviado para o beneficiamento ou diretamente para tecelagens e malharias.

Especificamente a etapa de beneficiamento envolve tingimento, engomagem, retorção e tratamento especiais. A tecelagem e/ou malharia são etapas de elaboração de tecidos que podem ser planos, em malha circular ou retilínea, a partir dos requisitos dos clientes. O enobrecimento é a etapa de preparação e acabamento de tecidos, malhas ou artigos confeccionados. Na etapa de confecções, o setor tem ampla diversificação de tecnologias para os produtos têxteis, acrescida de acessórios incorporados nas peças, tais como botões e adereços variados, conforme a análise de tendências e preferências dos consumidores (NIEBISCH *et al.*, 2014).

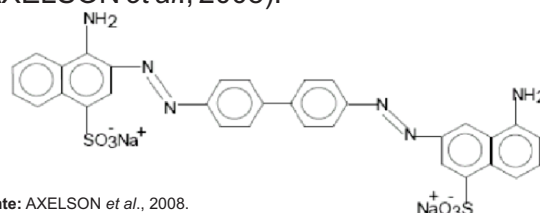
O grave problema ambiental se relaciona principalmente com o setor de tingimento. Wesenberg *et al.* (2003) afirmam que as fibras têxteis requerem

corantes com características próprias e bem definidas, os quais devem apresentar alta afinidade, uniformidade na coloração, resistência ao desbotamento, e ainda devem apresentar-se economicamente viáveis. Há várias maneiras para classificar os corantes, por exemplo, de acordo com a sua constituição química, sua aplicação, solidez, tipo de excitação eletrônica, quando exposto à luz, entre outras (TOSCAN *et al.*, 2017).

Duran *et al.* (2000) informam que os corantes incorporam dois elementos essenciais, sendo o grupo cromóforo, responsável pela cor que absorve a luz solar e o grupo funcional que permite a fixação das fibras de tecido.

Macleod *et al.* (2007) e Axelson *et al.* (2008) relatam que especificamente o Vermelho Congo (VC) é um composto orgânico classificado como um sal sódico derivado do ácido benzidinodiazobis-1-naftilamina-4-sulfônico, tendo fórmula molecular contendo átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, sódio, oxigênio e enxofre ($C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$), massa molar $696,66g.mol^{-1}$ e fórmula estrutural bastante complexa contendo anéis aromáticos (Figura 1) que conferem características recalcitrantes, ou seja, com difícil degradação, hidrofóbicos e bioacumulativos (MARCELINO *et al.*, 2014).

Trata-se de um corante classificado como diazo secundário em função das duplas ligações entre os átomos de nitrogênio (Figura 1). As ligações azo ($-N=N-$) (Figura 1) encontradas na estrutura molecular estão associadas aos grupos cromóforos sendo responsável pela absorção na região do ultravioleta ou visível, desse modo, a cor observada pelo indivíduo se refere ao comprimento de onda que não é absorvido, ou seja, a cor complementar ao comprimento de onda da energia que é absorvida pelos grupos cromóforos (AXELSON *et al.*, 2008).



Fonte: AXELSON *et al.*, 2008.

Figura 1 – Estrutura molecular do corante vermelho congo

O VC é reconhecido por ser tóxico, carcinogênico, e mutagênico, entretanto, ainda continua com uso extensivo principalmente na etapa do tingimento da seda (QUEIROZ *et al.*, 2019). Azbar, Yonar e Kestioglu (2004) pontuam que a referida substância pode ser encontrada no efluente e apresenta elevada taxa de persistência no meio ambiente. Desse modo, os pesquisadores reforçam a importância da sua remoção das águas residuais. Assim entende-se a atenção dispensada pelos órgãos fiscalizadores em relação ao atendimento dos padrões ambientais considerando os despejos industriais contendo esse tipo de corante.

Nesse cenário, o volume crescente de efluentes contendo poluentes não biodegradáveis exige a adoção de novas tecnologias relativas ao seu processo de descontaminação. Dentre essas, destaca-se o uso do Processo Oxidativo Avançado (POA).

Pera-Titus *et al.* (2004) relatam que o POA é baseado na geração de radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$), um forte agente oxidante, capaz de degradar moléculas orgânicas resistentes à biodegradação. Viola, Lanfredi e Zaghin (2014) informam que o potencial de oxidação do radical OH é igual a 2,80 eV, desse modo, sendo superior ao do cloro (Cl_2) e ao do ozônio (O_3) que correspondem respectivamente à 1,36 eV e 2,07 eV respectivamente (Tabela 1).

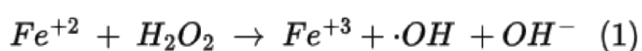
Tabela 1

Potencial de oxidação de algumas espécies químicas

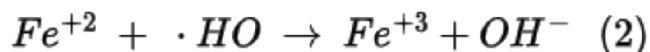
Oxidante	Potencial de Oxidação
Radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$)	2,80eV
Ozônio (O_3)	2,07eV
Cloro elementar (Cl_2)	1,36eV

Fonte: PERA-TITUS *et al.*, 2004.

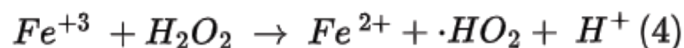
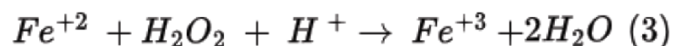
Dias *et al.* (2018) reforçam que o processo Fenton Homogêneo implica em geração do radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) que ocorre através da reação entre o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o ferro II (Fe^{+2}) em meio ácido e pode ser descrita conforme a Equação (1) (TEIXEIRA E JARDIM, 2004):



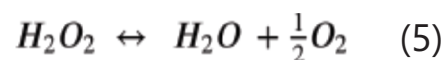
Teixeira e Jardim (2004) relatam que a taxa de oxidação do poluente é função do radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$), sendo assim se encontra intimamente relacionada com a concentração de peróxido de hidrogênio. No entanto, o teor de contaminante orgânico (substrato) atua como limitante no processo. Nesta condição, o radical OH entra em reação com os íons ferrosos formando ferro III (Fe^{+3}) e íons hidroxila ($\bullet\text{OH}$) (Equação 2):



Bautista *et al.* (2008) relatam que a faixa de pH ótimo para a oxidação Fenton se situa no meio ácido, com predominância de íons H^+ (Equação 3). Entretanto, se o pH está muito ácido também ocorrem efeitos adversos. Pode-se citar a alteração do padrão de atuação do catalisador afetando o seu rendimento, a principal fonte de dificuldades se relaciona a não regeneração do ferro II (Fe^{+2}). Ou seja, a reação do ferro III (Fe^{+3}) com peróxido de hidrogênio (Equação 4) é inibida, implicando em baixas concentrações do catalisador.



Em pH mais alcalino se inicia a precipitação do hidróxido de ferro III ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), oportunizando a reação de decomposição do peróxido de hidrogênio com formação de água e oxigênio gasoso (Equação 5).



O excesso de peróxido de hidrogênio também é interferente atuando como receptor de radicais hidroxilas (OH) reduzindo a capacidade oxidante do meio reacional. Marcelino *et al.* (2014) relatam que o Fenton Homogêneo apresenta eficácia comprovada no tratamento de diversos poluentes persistentes. No entanto, os pesquisadores enfatizam a existência

de desvantagem que pode ser atribuída à necessidade de separação dos sais de ferro que por apresentarem coeficientes de solubilidade muito baixos conduzem a precipitação na forma de flocos com diferentes granulometrias.

Em termos gerais, o tratamento utilizando a oxidação Fenton deve atender uma sequência de procedimentos padronizados. A primeira etapa ocorre no tanque de oxidação onde são misturados a água residual bruta, o agente oxidante peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o catalisador sulfato ferroso heptaidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4) agente de ajuste de pH. Em seguida, é realizada a neutralização através da adição do hidróxido de sódio (NaOH) agente alcalinizante, ocorrendo à degradação do peróxido de hidrogênio residual. Finalizando são desenvolvidas as etapas de floculação e decantação se obtendo a água residual tratada (BAUTISTA *et. al.*, 2008).

MATERIAIS E MÉTODOS

Método estatístico

A pesquisa científica configura-se como importante ferramenta para aperfeiçoar o domínio em relação a um dado tema. Especificamente nesse estudo foi utilizado o método quali-quantitativo com avaliação dos dados dos experimentos químicos e também pertinente à percepção humana através de perguntas abertas e fechadas (ANDRADE, 2010). Desse modo, aplicou-se cinco fases fundamentais: a coleta, a crítica, a apuração, a apresentação e a análise dos dados.

Público alvo

Nesse estudo específico, o grupo que participou das aulas práticas era formado por quarenta (40) graduandos do curso de engenharia química do Unileste. Identificou-se a prevalência de pessoas com idade inferior a trinta anos (Figura 2) e do sexo feminino (Figura 3). O panorama detectado era favorável para aplicação de métodos inovadores. Günther e Günther (2018) *apud* Queiroz *et al.* (2020) relatam que o público

jovem mostra boa aderência quanto ao uso de métodos que trazem novas concepções.

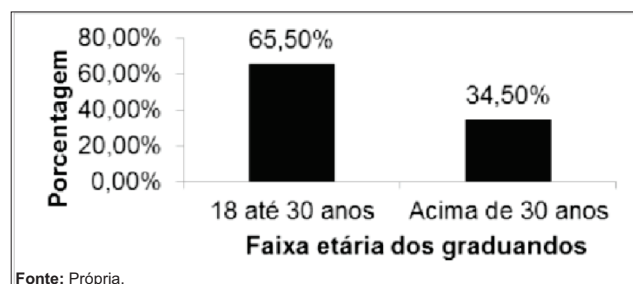


Figura 2 – Faixa percentual relativa à idade dos graduandos

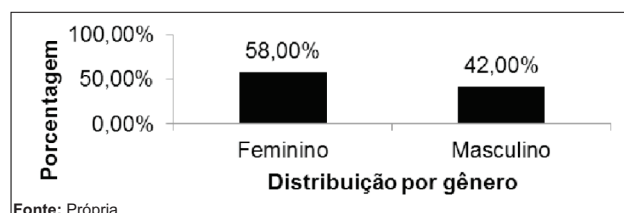


Figura 3 – Faixa percentual relativa ao gênero dos graduandos

Atividades práticas

As experimentações incluíram a aplicação da espectrofotometria de absorção atômica sendo realizada uma análise de varredura da solução do corante VC para determinação do comprimento de onda com maior absorbância (A_o) (APHA, 1998). A Demanda Química de Oxigênio ($DQO_{inicial}$) foi determinada segundo as metodologias da *American Public Health Association* (APHA, 1998).

Adotou-se o desenvolvimento de experimentos em regime de batelada em ambiente aclimatado ($20^{\circ}C$). As amostras de 500 mL com concentração do corante correspondente à 100 mg.L^{-1} foram introduzidas em béqueres revestidos de papel alumínio. As relações entre o $[Fe^{+2}]$ e $[H_2O_2]$ e o pH reacional foram ajustadas respectivamente para 0,50 e 3,0, utilizando-se para o controle da concentração de íons hidrogênio $[H^+]$ a solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) correspondente a 2 mol.L^{-1} . Os ensaios de oxidação foram realizados em triplicata e submetidos à agitação constante em 120 rpm. Em todos os experimentos foram retiradas alíquotas em tempos pré-determinados 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos que foram submetidas à análise espectrofotométrica para identificação da absorbância instantânea (A_i).

A concentração instantânea (C_i) do corante foi determinada através da Equação 6:

$$\frac{C_i}{C_o} \times 100 = \frac{A_i}{A_o} \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

C_i = concentração instantânea do corante

C_o = concentração inicial do corante

A_i = absorvância instantânea do corante

A_o = absorvância inicial do corante

A remoção da cor foi avaliada mediante a aplicação da Equação 7:

$$\eta (\%) = 1 - \frac{A_i}{A_o} \times 100 \quad (7)$$

Sendo:

(%) = eficiência da descoloração

A_i = absorvância instantânea do corante

A_o = absorvância inicial do corante

Foram também sistematizados estudos cinéticos para determinar a ordem das reações e suas velocidades específicas (k), utilizou-se o método das velocidades iniciais: uma série de experimentos foi realizada com diferentes concentrações iniciais de peróxido de hidrogênio (100 mg.L⁻¹, 80 mg.L⁻¹, 40 mg.L⁻¹ e 20 mg.L⁻¹) e com concentração inicial (C_o) do corante igual a 100 mg.L⁻¹.

As outras variáveis, como dosagem de íons ferrosos (Fe⁺²), temperatura e pH foram mantidas constantes. Os dados foram ajustados ao modelo de primeira ordem baixo (Equação 8):

$$y = (A_{inicial} - A_{min}) \cdot \exp(-x/t_{meia}) + A_{min} \quad (8)$$

Sendo:

$A_{inicial}$ = a absorvância inicial (em %)

A_{min} = a absorvância (em %) em um tempo de

reação que tende ao infinito

t_{meia} = tempo de meia-vida da reação, ou seja, o tempo necessário para que a absorvância se reduza à metade da inicial.

Após o intervalo de tempo de sessenta (60) minutos fixado como tempo total para o desenvolvimento do experimento, o excesso de peróxido de hidrogênio, em cada uma das amostras, foi eliminado através da adição de hidróxido de sódio 2 mol.L⁻¹ até atingir-se o pH correspondente a 10. Após ajuste de pH, as amostras foram mantidas em repouso por trinta (30) minutos para precipitação de todo o material suspenso. A fase sobrenadante foi filtrada e realizada nova análise da Demanda Química de Oxigênio final (DQO_{final}) (APHA, 1998). Os resultados obtidos em relação à eficiência de remoção da cor e da DQO foram comparados aos encontrados por Salgado *et al.* (2009) e Oliveira e Leão (2009).

Análise da percepção dos educados

Com a pretensão de potencializar a capacidade de reflexão foi solicitado aos educados para que expusessem oralmente suas opiniões sobre as atividades realizadas sendo estabelecida a formação de uma roda de conversa. Ribetto e Rattero (2017) ponderam que esse método fortalece o processo de construção do conhecimento pela mediação dialógica entre educadores e educados. Entende-se que essa dinâmica oportuniza reconhecer a percepção do aluno em relação ao processo de ensino-aprendizagem. O espaço de interlocução foi estabelecido através de questionamentos simples e objetivos:

- as atividades práticas contribuíram para ampliar os seus conhecimentos em relação ao desenvolvimento do POA?

- existem dúvidas em relação aos conteúdos explorados?

- a sua participação foi adequada?

Nesse contexto, foi possível alcançar dos educados uma apreciação em relação às atividades

realizadas visando identificar possíveis oportunidades de crescimento acadêmico. Correia e Fernandes (2016) reforçam que o método possibilita uma devolutiva eficaz permitindo à academia oportunidades para corrigir ou aperfeiçoar o processo ensino e aprendizagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atividades práticas

A análise da varredura utilizando a solução do corante VC com concentração correspondente a 100 mg.L⁻¹ apresentou uma banda larga com maior absorção entre 465 e 600 nm e maior absorbância em 510 nm, sendo este último adotado como referência explicitando concordância com os parâmetros preconizados no *Standart methods for the examination of water and wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 1998) e com os achados de Salgado *et al.* (2009) e Oliveira e Leão (2009).

Os resultados relativos à leitura da absorbância instantânea (A_i) realizados com intervalos regulares fixados em dez (10) minutos evidenciaram o decaimento entre o valor máximo correspondente a 1,422 até um mínimo de 0,027 após sessenta (60) minutos com as concentrações de peróxido de hidrogênio correspondentes a 40 mg.L⁻¹ e 80 mg.L⁻¹ (Tabela 2). Com teor de 20 mg.L⁻¹ a A_i atingiu um mínimo 0,348 (Tabela 2) denotando que a produção de hidroxila não foi satisfatória para garantir a destruição dos grupos cromóforos.

Em contrapartida com a concentração de peróxido de hidrogênio igual a 100 mg.L⁻¹ identificou-se que a A_i mínima foi de 0,047 (Tabela 2) explicitando relação com a redução da concentração do oxidante do radical hidroxila (\bullet OH) em comparação com os teores de 40 mg.L⁻¹ e 80 mg.L⁻¹.

A análise dos resultados (Tabela 2) permitiu identificar uma estreita semelhança com os achados de Salgado *et al.* (2009) e Oliveira e Leão (2009) relacionados com a degradação de azocorantes. Desse modo, infere-se que o processo Fenton homogêneo apresenta boa eficiência em relação à

remoção da cor com o uso de quantidades relativamente pequenas de peróxido de hidrogênio e ferro II.

Tabela 2

Absorbância instantânea (A_i) em função da concentração de peróxido de hidrogênio x tempo (t)

t (min.)	A_i [H ₂ O ₂] = 20 mg.L ⁻¹	A_i [H ₂ O ₂] = 40 mg.L ⁻¹	A_i [H ₂ O ₂] = 80 mg.L ⁻¹	A_i [H ₂ O ₂] = 100 mg.L ⁻¹
0	1,422	1,422	1,422	1,422
10	1,114	0,821	0,809	0,822
20	0,878	0,557	0,539	0,555
30	0,656	0,381	0,369	0,393
40	0,580	0,266	0,255	0,271
50	0,417	0,109	0,099	0,185
60	0,348	0,027	0,027	0,047

Fonte: Autor.

Identificou-se uma redução significativa no tempo de meia vida da reação quando a concentração oscilou entre 20 mg.L⁻¹ e 40 mg.L⁻¹ de H₂O₂. No entanto, aumentos na concentração do oxidante acima de 40 mg/L, não reduziram significativamente o tempo de meia-vida (Tabela 3).

Tabela 3

Características cinéticas do processo Fenton Homogêneo no tratamento da solução de VC com diferentes concentrações

Variável	20 mg.L ⁻¹	40 mg.L ⁻¹	80 mg.L ⁻¹	100 mg.L ⁻¹
R ²	0,99578	0,98856	0,98867	0,98773
$A_{inicial} - A_{min}$	95,72318	100,346	99,79239	96,49362
t_{meia}	38,3539	22,46623	21,52296	21,13375
A_{min}	4,33037	-2,21339	-1,58025	1,79213

Fonte: Autor.

O modelo se ajustou bem aos dados experimentais das quatro concentrações de H₂O₂ testadas (Figura 4) mostrando correlação positiva com o estudo cinético desenvolvido por Salgado e colaboradores (2009) e Oliveira e Leão (2009).

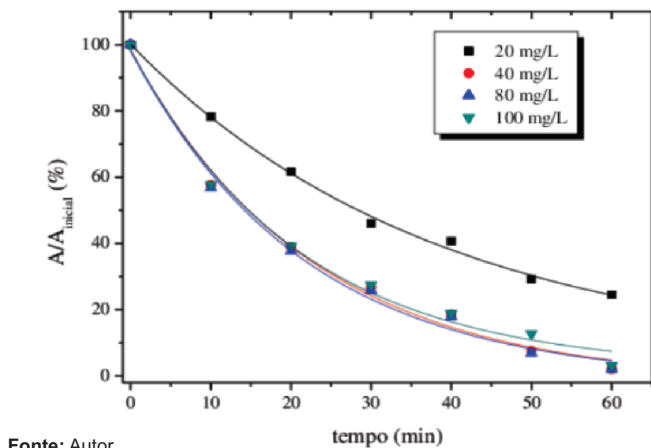


Figura 4 - Cinética reacional do Vermelho Congo (VC) para diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio

Com relação à remoção da DQO constatou-se que o melhor resultado foi obtido para a concentração de 40 mg.L⁻¹ de H₂O₂ atingindo um percentual de 96,75% (Tabela 4), sendo um pouco mais elevado que o obtido por Salgado *et al.* (2009) que foi de 94% em concentrações distintas de oxidante e catalisador. Em relação a esse parâmetro físico-químico, ponderou-se que o ajuste do pH é essencial para viabilizar a degradação do VC em nitratos, sulfatos e gás carbônico (Equação 9).

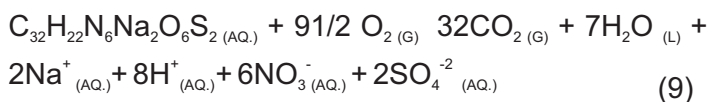


Tabela 4

Remoção da DQO com o uso do processo Fenton Homogêneo para diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio

Concentração de H ₂ O ₂	Remoção da DQO
20mg.L ⁻¹	80,65%
40mg.L ⁻¹	96,75%
60mg.L ⁻¹	95,35%
80mg.L ⁻¹	89,25%
100mg.L ⁻¹	90,25%

Fonte: Autor.

Em relação à remoção de cor, verificou-se que a concentração de 40 mg/L também foi a mais adequada

(Tabela 5) com remoção com nível de 98,45% denotando que a destruição dos grupos cromóforos estava associada à mineralização do corante.

Tabela 5

Remoção da cor com o uso do processo Fenton Homogêneo para diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio

Concentração de H ₂ O ₂	Remoção da cor
20mg.L ⁻¹	75,58%
40mg.L ⁻¹	98,45%
60mg.L ⁻¹	98,03%
80mg.L ⁻¹	96,80%
100mg.L ⁻¹	95,48%

Fonte: Autor.

Análise dos discentes em relação ao processo educativo

O reconhecimento quanto à percepção dos educados em relação aos métodos de ensino utilizados é fundamental para que seja possível a detecção das dificuldades dos discentes, bem como se mostram como uma oportunidade de verificar quais as possibilidades que o aluno alcançou quanto à construção de novos conhecimentos (BARBOSA E MARTINS, 2006).

Nessa premissa, a avaliação dos educados em relação ao desenvolvimento das atividades práticas foi bastante positiva. Quando perguntados quanto à contribuição das atividades para ampliar os conhecimentos em relação ao desenvolvimento do POA a maioria, ou seja, 98% dos alunos afirmaram que ampliaram o conhecimento em relação à dinâmica da degradação do azo corante (Tabela 6). Entretanto, 2% desse público (Tabela 6) ponderaram quanto à necessidade de utilizar outros corantes para comprovar a eficiência do POA. Diante desses achados pondera-se quanto à relevância de utilizar diferentes materiais no desenvolvimento dessas práticas laboratoriais, desse modo, contribuindo para o maior envolvimento e permitindo a inserção de novos

ângulos para discussão acadêmica através da experimentação investigativa possibilitando maior domínio ao discente (CUNHA, 2012).

Em relação ao questionamento relacionado quanto às dúvidas em relação aos conteúdos explorados, 15% dos alunos (Tabela 6) pontuaram que ainda existiam pontos que demandavam esclarecimentos. Esses resultados podem ser atribuídos à formação de equipes de trabalho com número elevado de discentes. Em função do espaço e disponibilidade de materiais os grupos foram formados com cinco pessoas. Essa condição pode ter dificultado o processo de empoderamento do aluno como construtor e condutor em experimentação científica. Acredita-se que uma possibilidade seja a formação em dupla, tal condição, pode favorecer a aquisição de valores importantes, tal como, a empatia, e ainda garantir as condições propícias para o protagonismo do aluno em relação à sua formação constituindo-se em fator motivacional. Baxto *et. al.* (2019) destacam que a motivação é requisito propulsor da aprendizagem. Os autores destacam que o indivíduo motivado reconhece a importância de aprender, identificando a sua finalidade. Nessa condição, o aluno torna-se co-autor nesse processo alcançando nível de consciência quanto à utilização desse conhecimento no atendimento das necessidades atuais e futuras.

Considerando o questionamento quanto à participação individual do aluno houve também um total de 15% que classificou como não satisfatória (Tabela 6) sendo novamente atribuído ao dimensionamento inadequado das equipes de trabalho. Essas ponderações explicitaram que para o bom andamento das aulas práticas é necessário que a equipe tenha um número de pessoas que permita uma divisão adequada de tarefas com atendimento aos procedimentos técnicos seguros, necessários à elaboração de um ensaio (DESTRO, 2002), ou seja, a eficácia da prática está condicionada a essa atribuição, desse modo, favorecendo do desenvolvimento educacional dos alunos em relação aos conhecimentos adquiridos (SANTOS *et al.*, 2018).

Tabela 6
Resultados pertinentes à perspectiva dos educados

Quesito	Sim	Não
As atividades práticas contribuíram para ampliar o conhecimento em relação ao POA?	98,0%	2,0%
Existem dúvidas quanto aos conhecimentos científicos explorados?	85,0%	15,0%
A sua participação foi adequada?	85,0%	15,0%

Fonte: Autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos problemas envolvem as estações de tratamento de efluentes têxteis, especialmente o baixo nível de eficiência de remoção da cor. Os resultados obtidos neste estudo explicitaram a aplicabilidade do Fenton Homogêneo na degradação de um corante azo

Identificou-se que esse tipo de POA apresentou nível de descontaminação para a solução de VC em torno de noventa e oito por cento (98%) na remoção da cor para a concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) correspondente a 40 mg. L^{-1} . Além disso, a remoção de DQO também foi bastante satisfatória correspondendo a noventa e seis e setenta e cinco por cento (96,75%).

A análise dos graduandos em relação às experimentações também se mostrou positiva. Nesse contexto, destaca-se que noventa e oito por cento (98,0%) dos educados afirmaram que as atividades práticas contribuíram para ampliar os conhecimentos em relação ao POA. Infere-se aí, que essa modalidade didática é essencial para despertar e manter o interesse dos alunos, sendo auxílio significativo para favorecer a compreensão de conceitos científicos, desenvolvendo a capacidade para resolução de problemas e contribuindo efetivamente para o desempenho do egresso em sua vida profissional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste) e Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) o apoio às atividades de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M.M. Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos da graduação. São Paulo, SP: Atlas, 2010.
- ANDREOZZI, R.; D'APUZZO, A.; MAROTTA, R. Oxidation of aromatic substrates in water/goethite slurry by means of hydrogen peroxide. *Water Research*, v. 36, n. 19, p. 4691-4698, 2002.
- APHA (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20a.ed. Washington: American Public Health Association.
- ARIM, A. L.; CECÍLIO, D.F.; QUINA, M.M.J.; FERREIRA, L.M.G.A..Removal of Cr(III) from aqueous solutions by modified lignocellulosic waste. 1ed. London, UK: CRC Press., Taylor & Francis Group, 2016, v. II, pp.215-220.
- AXELSON, G.K; GIORGADZE, T; YOUNGBERG, G.A. Evaluation of the use of Congo red staining in the differential diagnosis of Candida vs. various other yeast-form fungal organisms. *Journal of Cutaneous Pathology*.V.35, p.27-30, 2008.
- AZBAR, N.; YONAR, T.; KESTIOGLU, K. Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from polyester and acetate fiber dyeing effluent. *Chemosphere*, v. 55, n. 1, p. 35-43, 2004.
- BARBOSA, Maria R. L. da S.; MARTINS, Angélica P. R. Avaliação: Uma prática constante no processo de ensino e aprendizagem. 2016. Disponível em Acesso em 10 maio 2020.
- BAUTISTA, P. MOHEDANO, A.F. CASAS, J. A. ZAZO, J. A. RODRIGUES, J.J. *Review – Na overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Society of Chemical Industry*. 2008.
- BAXTO, W.; AMARO, R.; MATTAR, J..Distance education and the open university of Brazil. *International review of research in open and distributed learning*, v.20, p. 100-115, 2019.
- CARVALHO, A.T. Apagar e Corrigir. *Cadernos Limpos*, Cabeça Confusa: contribuições à teoria das situações didáticas e criatividade nas aulas de matemática. *Perspectivas da Educação Matemática*, v. 7, p. 38-50, 2014.
- CUNHA, E. C.. Estratégias de Polidez na Interação em Aulas Chat. 1ª. ed., 2012.
- DESTRO, M.R.P.. Os desafios dos educadores que vivem nas sociedades industrial/pósindustrial. *Acta Científica. Ciências Humanas*, São Paulo, v. 1, n.2, p. 6-13, 2002.
- DURÁN N; MORAIS S.G; FREIRE R.S. Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation processes. *Chemosphere*.V.40, p.369-373, 2000.
- GOMES, L..P.; SCHOENELL, E. K. . Aplicação de ozônio e de ozônio + peróxido de hidrogênio para remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterros sanitários. *ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ONLINE)*, v. 23, p. 113-124, 2018.
- LACERDA, J.M.; ARAUJO JR, C. F.. Estudo do currículo de um curso de pós-graduação *lato sensu*, com foco em habilidades e competências. *Revista de produção discente em educação matemática*, v. 3, p. 1-79, 2014.
- LEDAKOWICZ, S., SOLECKA, M., ZYLLA, R., 2001, Biodegradation, decolourisation and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes, *J. Biotechnol.*v. 89 pp.175-184.
- LEVIN, L.; PAPINUTTI, L., FORCHIASSIN., F. Evaluation of Argentine an white rot fungi for their ability to produce lignin-modifying enzymes and decolorize industrial dyes. *Bioresource Technology*, Argentina, v. 94, n. 2, p. 169-176, 2004.
- MACLEOD, T. C. O. ; BARROS, V. P. ; FARIA, A. L. ; SCHIAVON, M.A. ; YOSHIDA, I. V. P. ; QUEIROZ, M. E. C. ; ASSIS, M. D. Jacobsen catalyst as a P450 biomimetic model for the oxidation of an antiepileptic drug. *Journal of Chemical Catalysis. A, Chemical*, v. 273, p. 259-264, 2007.
- MARCELINO, R. B. P. ; QUEIROZ, M. T. A. ; AMORIM, C. C. ; LEÃO, M. M. D. ; BRITES-NÓBREGA, F. F. . Solar energy for wastewater treatment: review of

international technologies and their applicability in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 1, p. 1-2014, 2014.

MOLINARI, R., PALMISANO, L., DRIOLLI, E., Studies on various reactor configurations for coupling photocatalysis and membrane processes in water purification. *Journal of Membrane Science* v. 206 n. 1-2 pp. 399-415, 2002.

NOGUEIRA, R.F.P; Oliveira, M.C.; PATERLINI, W.C., Simple and fast spectrophotometric determination of H_2O_2 in photo-Fenton reactions using metavanadate, *Talanta*, 66 (2005), pp. 86-91.

PAULA, M. S.; RIBEIRO, R. P. M. ; CERQUEIRA, A. A. ; MERÇON, F.; BILA, D. M. Z.; FELIX, L.; MARQUES, M. C. A. R. C. . Use of reverse osmosis as a polish for the cationic surfactant after electro-oxidative treatment: Acute and chronic toxicity assessment. *ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY*, v. 163, p. 521-527, 2018.

PERA-TITUS, M.; GARCIA-MOLINA, V.; BAÑOS, M. A.; GIMÉNEZ, J.; ESPLUGAS, S. Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: a general review, *applied catalysis B. Environmental*, v. 47, p. 219–256, 2004.

PEREIRA, A. R.; DA COSTA, R. S. ; YOKOYAMA, L. ; ALHADEFF, E. M. ; TEIXEIRA, L. A. C. . *Evaluation of Textile Dye Degradation Due to the Combined Action of Enzyme Horseradish Peroxidase and Hydrogen Peroxide. Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 174, p. 2741-2747, 2014.

QUEIROZ, M. T. A.; SABARA, M. G. ; QUEIROZ, C. A. ; LEÃO, M. M. D. ; AMORIM, C. C. . Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. *GESTÃO & PRODUÇÃO*, v. 26, p. 1/1149, 2019-14, 2019.

SALGADO, B. C. B.; NOGUEIRA, M. I. C.; ROGRIGUES, K. A.; SAMPAIO, G. M. M. S.; BUARQUE, H. L. B.; ARAÚJO, R. S. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e fotoassistidos (UV e UV/ H_2O_2). *Engenharia sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, jan/mar, 2009.

SANTOS JR., J. B.; SOUZA, F. L.; MARCONDES, M. E. R.. Estágios da colaboração: um instrumento para investigar a evolução das interações de professores de Química inseridos em um grupo colaborativo. *REEC. REVISTA ELECTRÓNICA DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS*, v. 17, p. 358-379, 2018.

SETTI, M. E. C.. Aging and technology: new trends in Brazil. *Gerontechnology (Valkenswaard)*, Holanda, v. 2, n.1, p. 48-49, 2002.

SMAHA, N.; GOBBI, M. F., 2003. Implementação de um modelo para simular a eutrofização do Reservatório do Passaúna - Curitiba - PR. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 8(3): 59-69.

SORDI, M. R. L. DE; SANTOS, M. A. ; MENDES, G. S. C. V. . Os vinte anos da Educação na Interface: trajetória, tendências e desafios. *Interface (Botucatu. Online)*, v. 24, p. 1-18-18, 2020.

SOUZA, C. R. L. Degradação de corantes reativos e remediações de efluentes têxteis por processos avançados envolvendo ferro metálico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2006.

SOUZA, L. C. Tratabilidade de efluentes provenientes de duas sequências ECF de branqueamento de celulose kraft de eucalipto. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 2001.

TEIXEIRA, C. P. E JARDIM, W. F. Caderno Temático volume 03 – Processos oxidativos avançados – Conceitos teóricos. Universidade Estadual de Campinas; Unicamp, Instituto de Química; Laboratório de Química Ambiental, 2004.

VIOLA, D. H., LANFREDI, F., ZAGHINI, A.. Application of the Prigogine-Flory-Patterson model to excess molar enthalpy of binary liquid mixtures of 1-nonanol or 1-decanol with acetonitrile at atmospheric pressure and 298.15, 303.15 and 308.15K. *Journal of Molecular Liquids (Print)*, v. 190, p. 196-199, 2014.

OLIVEIRA, D. M.; LEÃO, M. M. D.. Avaliação da biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com Reagente de Fenton. *Química Nova*, v. 32, p. 2282, 2009.

Evaluation of the efficiency of sequential electro-oxidation/adsorption and adsorption/electro-oxidation techniques in removing *Novacron Blue* from aqueous solution

Avaliação da eficiência das técnicas sequenciais de eletro-oxidação/ adsorção e adsorção/eletro-oxidação na remoção de Novacron Blue de solução aquosa

Sheila Pricila Marques Cabral de Souza, Janiele Mayara Ferreira de Almeida*,
Elmar Damasceno Júnior, Nedja Suely Fernandes, Carlos Alberto Martínez-Huitle¹

¹Laboratório de Química Analítica e Meio Ambiente, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Av. Senador Salgado Filho, Campus Central, Lagoa Nova – Natal - RN, Brasil.
*janielequimicaufrn@gmail.com

Submetido em 14/04/2021; Versão revisada em 17/09/2021; Aceito em 22/10/2021

Abstract

Dyes are among the biggest polluting sources in the world and due to their complex nature, a single chemical treatment of wastewater may not be adequate, thus being able to combine physical treatment to optimize the results of water decontamination. In this work it is proposed to use a process by sequential treatments using electro-oxidation/adsorption and adsorption/electro-oxidation of a synthetic effluent (aqueous solution) of the Novacron Blue dye using Pb/PbO₂ or Ti/Pt as an anode. The data showed that the individual treatment via electrochemical oxidation showed at pH 4.5 the total color removal in 150 minutes, regardless of the current densities used, causing a high energy consumption. The adsorption process at the same pH, however, showed a low color removal of 35.2% in 20 minutes (saturation time) of the adsorbent. The electro-oxidation/adsorption sequence proved to be more efficient in terms of TOC (total organic carbon) removal and less energy consumption than its reverse process, since expanded perlite was essential for the significant removal of the degradation by-products formed after electro-oxidation (identified by GC-MS). These data were confirmed by the analysis of total organic carbon (TOC) which showed a significant removal of organic matter, after the sequential treatments of electro-oxidation/adsorption. The results obtained through the analyzes carried out with the Pb/PbO₂ anode showed a higher TOC removal content (60.10%) when compared to the Ti/Pt electrode (51.98%), for all current density and pH values analyzed. The expanded perlite also showed good capacity to reduce the concentration of residual Pb (from the electrode).

Keywords: perlite; dyes; electrooxidation

Resumo

Os corantes estão entre as maiores fontes poluidoras do mundo e devido à sua natureza complexa, um único tratamento químico da água residuária pode não ser adequado, podendo assim combinar o tratamento físico para otimizar os resultados da descontaminação da água. Neste trabalho propõe-se a utilização de um processo por tratamentos sequenciais utilizando eletro-oxidação/adsorção e adsorção/eletro-oxidação de um efluente sintético (solução aquosa) do corante Novacron Blue utilizando Pb/PbO₂ ou Ti/Pt como ânodo. Os dados mostraram que o tratamento individual via oxidação eletroquímica apresentou em pH 4,5 a remoção total da cor em 150 minutos, independente das densidades de corrente utilizadas, ocasionando um alto consumo de energia. O processo de adsorção no mesmo pH, entretanto, apresentou uma baixa remoção de cor de 35,2% em 20 minutos (tempo de saturação) do adsorvente. A sequência de eletrooxidação/adsorção mostrou-se mais eficiente em termos de remoção de COT (carbono orgânico total) e menor consumo de energia do que seu processo reverso, uma vez que a perlita expandida foi essencial para a remoção significativa dos subprodutos da degradação formados após a eletrodeposição. oxidação (identificada por GC-MS). Esses dados foram confirmados pela análise de carbono orgânico total (COT) que mostrou uma significativa remoção de matéria orgânica, após os tratamentos sequenciais de eletro-oxidação / adsorção. Os resultados obtidos nas análises realizadas com o ânodo de Pb/PbO₂ apresentaram maior teor de remoção de TOC (60,10%) quando comparado ao eletrodo de Ti/Pt (51,98%), para todos os valores de densidade de corrente e pH analisados. A perlita expandida também apresentou boa capacidade de reduzir a concentração de Pb residual (proveniente do eletrodo).

Palavras-chave: perlita; corantes; eletro-oxidação

1 INTRODUÇÃO

Environmental pollution is responsible for serious and often irreparable damage to land. There are three main types: soil, water and air pollution, but the biggest water polluting agents are industries due to the excessive use of pesticides, fertilizers, pharmaceutical components, and other organic compounds such as paints and dyes in the textile industry (Natarajan, 2018). The industries are considered a sector with a great production of wastewater because it contains high amounts of harmful chemicals that are often discarded without any previous treatment in water bodies, causing innumerable environmental problems (Noreen et al., 2020).

Dyes are among the largest polluting sources in the world. They are used on a large scale, not only in the textile industry but also in food, cosmetics, agriculture, pharmaceuticals and papermaking. It is estimated that around 7×10^5 tonnes of dye are produced annually and that 10 to 15% of the fraction of dye used in manufacturing and dyeing in the textile industry is lost in the form of washing water, that is, waste water, becoming effluent highly harmful to the aquatic environment. Synthetic dyes present in water bodies are easily visible in minimal concentrations (<1 ppm or mg/L), preventing the passage of light in the water and interfering with the growth and life of aquatic organisms. Wastewater containing dyes discharged into nature is dangerous for human health, animals and the environment. Thus, the degradation of dyes as well as the removal of color, are crucial points for environmental remediation (Katheresan, Kansedo & Lau, 2018; Mu et al., 2019; Natarajan, 2018; Noreen et al., 2020).

Novacron Blue is an azo dye, that is, it has in its chemical structure the organic group $-N = N-$ (azo group), responsible for its strong and persistent coloring, they are the most toxic dye class among those produced in the world. It is a dye widely used in the textile industry, mainly in dyeing jeans. Dyes such as

novacron blue are stable even in extreme conditions (acids and alkalis) and medium temperatures, thus being present in aquatic media Novacron Blue is not easily removed from wastewater and requires attention before being released into water bodies (RÊGO et al., 2014; Zhuang et al., 2020). The literature mentions that it is of great importance that technologies that reduce the discharge, the coloring or that are able to totally degrade the dyes of the aqueous medium before being launched in aquatic environments to reduce the environmental impact (MU et al., 2019; Natarajan, 2018; Noreen et al., 2020). The dyes are not removed in the aqueous medium under natural conditions, they require physical and/or chemical or biological treatment conditions: adsorption, photocatalysis, use of membranes, oxidation, microorganisms and electrolysis. Some methods such as adsorption, coagulation and flocculation are not effective, as they only change the phase of the contaminant (liquid to solid), not being able to destroy the organic molecule. Electrochemical methods, for example, electro-oxidation, have an energy cost associated with the process, and the formation of intermediate by-products generally harmful to the environment. Biological methods require time and a large territorial area for their execution, including that some dyes are resistant to aerobic treatment, which brings a disadvantage to their application (Katheresan, Kansedo & Lau, 2018; Natarajan, 2018; SILVA et al., 2021).

Electrochemical technology has developed greatly over the past 10 years as an alternative use for wastewater treatment, since it offers promising advantages for the prevention of problems related to industrial effluent pollution. The main advantage of this technology is its environmental compatibility. Other advantages are: versatility, security, selectivity, simplicity of automation, friendly to the environment and low investment costs (Bensalah, Quiroz alfaró & Martínez-huitle, 2009; Gilpavas, Dobrosz-gómez & Gómez-garcía, 2018; Rêgo et al., 2014). The main challenge for the electrochemical technology to be used in the treatment of industrial effluents, in general,

is to reduce the energy consumption of the process so that it can decrease its operating cost and, thus, make it competitive with other chemical treatments. already (ROCHA et al., 2012).

Electrochemical oxidation is the most used technique for removing organic contaminants in aqueous solutions due to its extraordinary reactivity, low cost and high energy efficiency. Contaminants are degraded and by-products are generated, making the adequately low total organic carbon (TOC) values are not achieved in these single treatment processes. Therefore, recent research has focused on various treatment techniques to clean wastewater, and thus achieve complete detoxification of contaminated water (Ganesan, Amirthalingam, & Arivalagan, 2019; Gilpavas, Dobrosz-gómez & Gómez-garcía, 2018).

In electrooxidation, no chemical reagent has to be added, since the electron is the “clean reagent” and does not generate residues after its execution, and the search for good anodic materials with excellent catalytic activities, low operating cost and high stability for application in tests electro-oxidation has been gaining prominence (RIBEIRO, 2013).

The material used as an anode in the oxidation process has an influence on the treatment efficiency, and the literature highlights that first class materials, called “active” anodes such as platinum-based materials (Pt), iridium oxide (IrO_2) and ruthenium oxide (RuO_2), are anodic materials with high stability and chemical and mechanical resistance. It is important to remember that platinum (Pt) electrodes are expensive, and to reduce their cost, the electrodes are produced by supporting platinum on the titanium plate (Ti/Pt). On the other hand, for electrochemical degradation processes there are also “non-active” electrodes in which the organic species is directly oxidized by hydroxyl radicals generated on the electrode surface, usually resulting in a faster and more complete combustion of organic matter: boron doped diamond electrode (BDD), SnO_2 and PbO_2 (TOC) (Malpass et al., 2008; Miwa et al., 2006).

The anode most widely used in electrooxidation

is Pb/PbO_2 due to its high electro-catalytic performance, corrosion resistance, long service life, high conductivity, high stability in very acidic media and low financial cost (Elaissaoui et al., 2018; Ribeiro, 2013). For almost all pollutants, PbO_2 presents faster mineralization than platinum (Pt), iridium oxide (IrO_2), ruthenium oxide (RuO_2) and tin oxide (SnO_2) (CARVALHO et al., 2011).

Due to the complex nature of the dyes, a single chemical treatment of wastewater, such as electro-oxidation, may not be adequate, thus being able to associate a physical treatment to optimize the results of dye removal. In this way, a sequential treatment technique, such as adsorption, is perfectly viable. Adsorption is a physicochemical phenomenon in which an inorganic material (adsorbent) can be used to remove pollutants in aqueous solution, in this case called a solid-liquid adsorption process. The selected adsorbent material must be easy to acquire, low cost and effective in removing degradation by-products, an important characteristic that biological treatment methods cannot achieve (GANESAN, AMIRTHALINGAM & ARIVALAGAN, 2019).

Expanded perlite is a natural aluminosilicate, consisting of 75.0% SiO_2 , low cost and abundant with great efficiency in removing organic molecules due to its active sites on its surface, the silanol groups (Si-OH). It is a promising material and widely used in the removal of dyes and adsorption of other organic molecules in an aqueous medium (ALMEIDA, et al., 2017; ALMEIDA et al., 2019).

In this work it is proposed to use sequential electrochemical oxidation/adsorption and adsorption/electrooxidation treatments of synthetic effluent (aqueous solution) of Novacron Blue dye. The proposal is to use two different electrode types: Ti/Pt and Pb/PbO_2 for the electro-oxidation step as they are one of the most used as anodes in electrochemical degradation processes. The objective is to evaluate the influence of the order of execution of the sequence of treatments of the synthetic effluent (electro-oxidation/adsorption or adsorption/electro-oxidation) in

the color removal efficiency, TOC reduction efficiency and energy cost.

2 MATERIALS AND METHOD

2.1 Materials

The reagents used in this study were sulfuric acid (H₂SO₄) 98.0% (Vetec), sodium hydroxide (NaOH) 99.0% (Vetec), sodium sulfate (Na₂SO₄) 99.5% (Vetec) and for chromatographic analysis, high purity acetonitrile grade GC-MS (Sigma-Aldrich). The textile dye used was commercial Novacron Blue (C₃₄H₂₄N₆Na₄O₁₄S₄) (Fig.1).

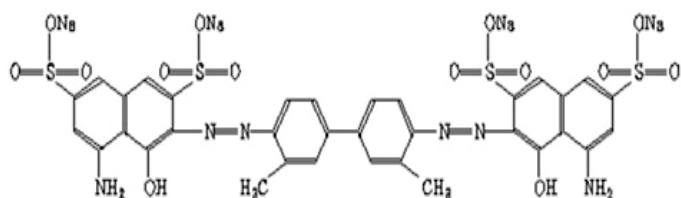


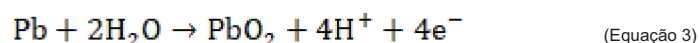
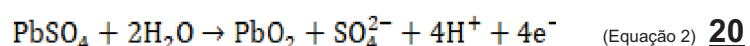
Figure 1. Chemical structure of Novacron Blue dye
Fonte: elaborada pelos autores

2.2 Preparation of aqueous solutions (synthetic textile effluents)

Novacron blue synthetic solutions were prepared by dissolving them in 0.25 mol/L sodium sulfate (Na₂SO₄) solution, since this salt is present in many textile wastewaters. The concentration of the dye used was 190 mg/L, in order to simulate the value of the concentration used in the textile industry. The pH values (1, 4.5 and 8) were adjusted with solutions of sulfuric acid (H₂SO₄) 0.5 mol/L and sodium hydroxide (NaOH) 0.25 mol/L. Industrial effluents from textile dyes generally contain concentrations between 100 and 150 mg/L of dissolved salts and pH 10, for this reason, the electrochemical and adsorption processes were tested by varying pH values to determine their influence on color removal.

2.3 Working electrode and electrochemical cell

The electrochemical cell was made up of an electrocatalytic material (Ti/Pt or Pb/PbO₂) as an anode and a 15 cm² plate of Ti as the cathode. The anodes had a square shape, with 10 cm² of geometric area. The inter-electrode distance was 1.5 cm. The Pt anode was a platinum coated Ti plate with a total area of 10 cm² (the Ti/Pt anode was supplied by De Nora S.P.A. Milan, Italy). The Pb/PbO₂ was prepared as follows: the Pb plate was immersed in a solution with a concentration equal to 10% sulfuric acid at room temperature in a beaker. In this system, a current density of 10 mA/cm² was applied for 40 minutes. After this process, it is observed that the Pb plate is converted to Pb/PbO₂ according to equations 1, 2 and (MARTÍNEZ-HUITLE *et al.*, 2004):



2.4 Electrochemical oxidation tests

The electro-oxidation tests were carried out for preliminary evaluation of the efficiency of the method for removing the color of the dye in aqueous solution. The tests were performed in an electrochemical cell with a reaction compartment whose capacity was 250 mL. The Novacron Blue oxidation experiments were carried out under galvanostatic conditions using a power supply. The influence of current density (20, 30 and 60 mAcm⁻²), with pH 4.5 and room temperature were the experimental conditions employed in the process.

2.4.1 Adsorption Test

The individual adsorption tests were performed using 500 mg of expanded perlite (adsorbent) in 50 mL of the synthetic solutions of the novacron blue dye (190 mg/L), placed in a 125 mL conical flask, under orbital agitation (160 rpm) on an incubator table at room

temperature. This study was carried out to evaluate an adsorption balance with a variation of pH 1; 4,5 and 8 and to investigate the efficiency of this removal method for Novacron Blue. Each aliquot removed was centrifuged to avoid the presence of material in suspension and the color decay (Equation 4) was evaluated by molecular UV-vis spectroscopy, by the absorbance at the maximum dye absorption length (600 nm).

2.4.2 Electrochemical oxidation/adsorption treatment

The aqueous solution of the Novacron Blue dye was subjected to treatment with sequential electrochemical oxidation and adsorption techniques. The electrochemical oxidation treatment was carried out in an electrochemical cell with a reaction compartment whose capacity was 250 mL. The Novacron Blue oxidation experiments were carried out under galvanostatic conditions using a power supply (Minipa brand and model MPL-3305M).

The experiments were carried out at 30 °C to study the effect of the applied current density (20, 40 and 60 mA/cm²), using Ti/Pt or Pb/PbO₂ as anode and varying the pH (1, 4.5 and 8) in a time of 0 to 60 minutes, while the effect of temperature (30, 40 and 60 °C) was studied only at a current density (20 mA/cm²) for all the pH values already mentioned and in a time interval from 0 to 40 minutes. Then, gas Chromatography Analyzes coupled with Mass Spectrometry (GC-MS) were performed to determine the reaction intermediate products and measures of Total Organic Carbon (TOC) to verify if the organic load was reduced during the electrochemical treatment.

As for the adsorption tests after electrochemical oxidation treatment, 50 ml of sample already submitted to electro-oxidative treatment, 500 mg of expanded perlite, under agitation of 160 rpm in an incubator table were also used. The expanded perlite used as an adsorbent in this work comes from Argentina and is supplied by Schumacher Insumos. The perlite was sieved in granulometry corresponding to 100 mesh (\pm

150 μ m), without any previous chemical treatment.

In order to influence the temperature in the adsorption process (30, 40 and 60 °C), pH values 1, 4.5 and 8 were tested in a time interval from 0 to 10 minutes, based on the saturation equilibrium time of the adsorbent (expanded perlite). Figure 2 shows the sequential treatment (electro-oxidation/adsorption) of the Novacron Blue dye.

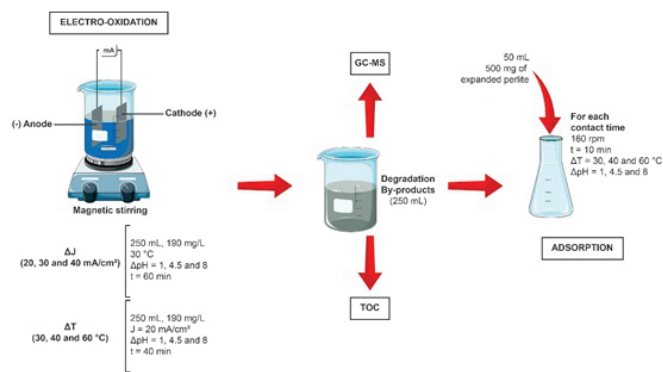


Figure 2. Experimental procedure for the sequential electro-oxidation/adsorption treatment

Fonte: elaborada pelos autores.

2.4.3 Adsorption/electrochemical oxidation treatment

In this work, the reverse process to that previously reported was also used, using sequential electrochemical adsorption/electro-oxidation techniques. At this point, after the solutions went through the adsorption process, they were subjected to the electrochemical oxidation process, as follows below.

The adsorption tests were performed using 2500 mg of expanded perlite in 250 mL of the synthetic solutions of Novacron Blue (190 mg/L), in an orbital stirring of 160 rpm, in an incubator table. A 250 mL conical flask was used and the adsorption was carried out in a time of 0 to 20 minutes at a temperature of 30 °C. The influence of the effect of the pH variation of the solution (pH 1, 4.5 and 8) and the effect of the temperature influence (30, 40 and 60 °C) on the dye adsorption process with the expanded perlite as an adsorbent were analyzed. After each contact time, an aliquot was removed and centrifuged to avoid the

presence of suspended material and the color removal was analyzed using a molecular absorption spectrophotometer in the UV-Vis region (UV-1800 Shimadzu) by decreasing the absorbance, in the maximum dye absorption wavelength (600 nm). The sequence of the adsorption/electro-oxidation process was outlined in Fig.3.

After the solutions went through the adsorption process, they were subjected to an electro-oxidative process, in order to verify the influence on color removal and current efficiency. The oxidations were carried out in an electrochemical cell with a reaction compartment, with a capacity of 250 mL. The dye oxidation experiments were carried out under galvanostatic conditions using a power supply (MPL-3305M).

To assess the effect of current density on the process, a fixed temperature of 30 °C was used, varying the applied current density (20, 40 and 60 mAcm⁻²) and pH (1; 4.5 and 8) in a time from 0 to 60 minutes. While the effect of temperature (30, 40 and 60 °C) was studied only at a current density (20 mAcm⁻²) for the pH values already mentioned and in a time interval of 0 to 40 minutes. Finally, the measurements of Total Organic Carbon (TOC) were made to verify if the organic load was reduced after the electrochemical treatment.

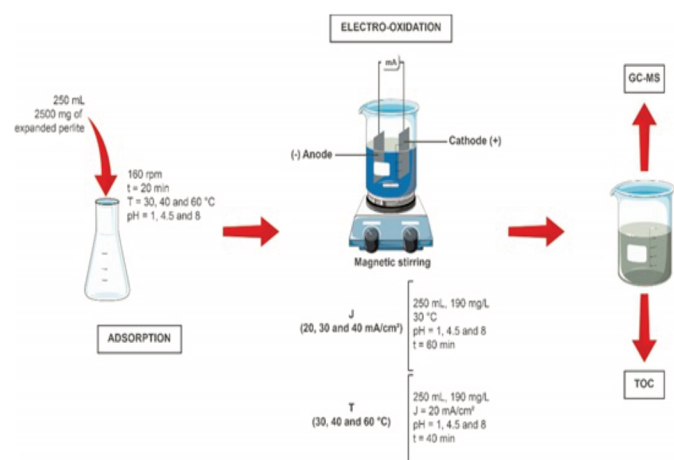


Figure 3. Experimental procedure for sequential adsorption/electro-oxidation treatment
Fonte: elaborada pelos autores.

2.5 Analytical methods

2.5.1 Electric conductivity

The electrical conductivity analyzes were performed on a conductivity meter (Tecnal model Tec-4MP) with two platinum electrodes, using a standard solution of 146.9 $\mu\text{S}/\text{cm} \pm 0.5\%$ (25 °C) for the calibration of the equipment.

These analyzes were carried out in order to assess whether the expanded perlite was adsorbing the support electrolyte ($\text{Na}_2\text{SO}_4 - 0.25 \text{ mol/L}$) and thus decreasing the ionic strength of the reaction medium. The samples of interest were read and after each reading the electrode was washed with distilled water and dried with absorbent paper

2.5.2 Color removal

Color removal was analyzed using a spectrophotometer (UV-1800 Shimadzu) and accompanied by a decrease in absorbance. Experimentally, the percentage of color removal was calculated by the expression (MARTÍNEZ-HUITLE & BRILLAS, 2009) according to Equation 4:

$$\text{Color removal (\%)} = (\text{ABS}_0 - \text{ABS}_t / \text{ABS}_0) \times 100 \quad (\text{Eq 4})$$

ABS_0 and ABS_t are the absorbances before and after an electrolysis time t at the maximum wavelength of the Novacron Blue (600 nm).

The energy consumption per volume of treated effluent was calculated and expressed in kW.h.m⁻³. The average cell potential, during electrolysis, is taken to calculate energy consumption, according to Equation 5 (MARTÍNEZ-HUITLE & BRILLAS, 2009):

$$\text{Energy consumption} = (V \times A \times t) / (1000 \times V_s) \quad (\text{Eq 5})$$

Where t is the electrolysis time (h), V is the cell voltage (Volts), A is the current (Amperes) and V_s the sample volume (m³).

2.5.3 Total Organic Carbon (COT)

The Total Organic Carbon Analyzer

(Analytik Jena Multi N/C 3100) measures the amount of Total Carbon (T.C) and Inorganic Carbon (I.C) in the sample. The TOC is given by subtracting T.C. and I.C. For the determination of total carbon, the injected sample is taken to a combustion tube at 680 °C containing platinum supported on alumina and undergoes catalytic oxidation to CO₂. For the determination of inorganic carbon, the injected sample reacts with 25% phosphoric acid, and all inorganic carbon is converted to CO₂. The CO₂ produced, both in catalytic oxidation and from inorganic carbon, is quantified by infrared absorption. The concentration of T.C. and I.C. are obtained by interpolation using analytical curves (peak area x concentration) previously made by injection of standards.

2.5.4 Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometer (GC-MS)

Gas Chromatography analyzes coupled to a Mass Spectrometer (Thermo Scientific®) were carried out in order to identify the intermediate compounds formed from the electrochemical oxidation analyzes of the Novacron Blue dye.

The samples were prepared by diluting 10 µL of the sample after electrochemical oxidation in 1 mL of acetonitrile and the final mixture was filtered using anhydrous sodium sulfate to remove traces of water and then injected into the chromatograph.

Table 1 shows the conditions that were used to perform the GC-MS analyzes for the Novacron Blue sample after electrooxidation.

Table 1.
Conditions used in GC-MS analyzes

Heating ramp	40 °C (5 min)
	12 °C/min to 100 °C (0 min)
	5 °C/min to 200 °C (0 min)
	20 °C/min to 270 °C (5 min)
Column	VF-5ms, 15m x 0.25mm x 0.25 µm Manufacturer: Varian
Stationary phase composition	5% fenil-arilene, 95% dimetilpolisiloxane
Injector temperature	220 °C
Injection mode	Splitless
Carrier gas and gas flow	Helium, 0,8 mL/min
Ion source temperature	220 °C
Transfer line temperature	280 °C
Mass range	35 to 500 m/z

2.5.5 Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

In order to ascertain the presence of lead residue in the electrochemical oxidation/adsorption analyzes, atomic absorption spectrometry analyzes were performed using an Atomic Absorption Spectrometer (model AA-6800 from Shimadzu). The tests were performed according to the APHA 3111B standard. For the calibration of the equipment, a reference standard traced to NIST was used, prepared volumetrically.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Individual treatments to remove the color of Novacron Blue

3.1.1 Electrochemical oxidation test

Before performing the sequential processes (electrochemical oxidation/adsorption) in the treatment of synthetic textile effluents (aqueous solution of the dye), electrochemical oxidation and adsorption tests were carried out individually in order to observe the behavior of the dye against the electrocatalytic material (Ti/Pt or Pb/PbO₂) and adsorbent (expanded perlite).

Electrochemical oxidation tests were performed using Pb/PbO₂ or Ti/Pt electrodes, concentration of the aqueous solution of dye (synthetic effluent) of 190 mg/L, at pH 4.5 and current densities of 20, 40 and 60 mA/cm² at room temperature. The solutions were subjected to electro-oxidative treatment until the color was completely removed. Figure 4 shows the influence of the applied current density on the total color removal during the electrochemical oxidation of the synthetic effluent containing the Novacron Blue dye using Pb/PbO₂ and Ti/Pt anodes.

As can be seen, complete color removal, in all cases, was achieved in a time of 150 minutes regardless of the current density applied and the type of anodic material. This shows that the complete elimination of the color occurs through its reaction with radicals (OH) that are electro-generated on the surface

of the electrodes, indicating a break in the azo bond (chromophore group, -N=N-) of the dye, removing its strong color and persistent (COMNINELLIS & PULGARIN, 1993; MARTÍNEZ-HUITLE & BRILLAS, 2009).

The current density determines the production of oxidizing species in the reaction medium. The increase in the current density provides an increase in the speed of the reactions in the electrodes, generating more OH, which consequently reduces the value of total organic carbon (TOC), increasing the mineralization of the organic pollutant, in this case the Novacron Blue (Dos santos et al., 2020).

between the dye molecules and the active sites on the electrode surface (Singh, et al., 2016). When using Pb/PbO₂ as an anode there is an increase in the mineralization content of the said dye. This can be explained by the fact that this type of anode is one of the classic examples of material with overpotential oxygen evolution, so it is extremely useful for the electrochemical removal of organic compounds. This overpotential favors the electrochemical combustion of organic compounds since they can be completely mineralized, thus ensuring a quick chemical reaction with low molecular weight products until conversion to CO₂ (MARTÍNEZ-HUITLE & BRILLAS, 2009, 2015; PANIZZA & CERISOLA, 2008).

3.1.1.1 Energy consumption for electro-oxidation

Table 2 shows the energy cost required for the complete removal of color from the Novacron Blue dye in 150 minutes under different current density conditions using the Pb/PbO₂ or Ti/Pt electrode as an anode. It can be seen that, during the electrolysis of the synthetic solution of the dye, the energy consumption of the process is proportional to the current density applied. Thus, as the color removal is total (100%) in the three current density values studied and in the same test time (150 min), the current density used in the other sequential electro-oxidation/adsorption tests was fixed at 20 mA/cm² due to the lower energy cost associated with the process. Lower current density values are preferred for more efficient electro-oxidative treatments, although they lead to a slower TOC reduction (DOS SANTOS *et al.* 2019). As for the type of anodic material, the energy cost was not very variable between the Pb/PbO₂ and Ti/Pt electrodes, demonstrating that the electro-oxidation had an energy cost practically equivalent regardless of the anode used. Due to the need for a long electrooxidation test time (150 minutes) to completely remove the color of the dye, the energy consumption and, consequently, the cost associated with the process was high, making the use of electrooxidation as an individual removal process unviable for the dye.

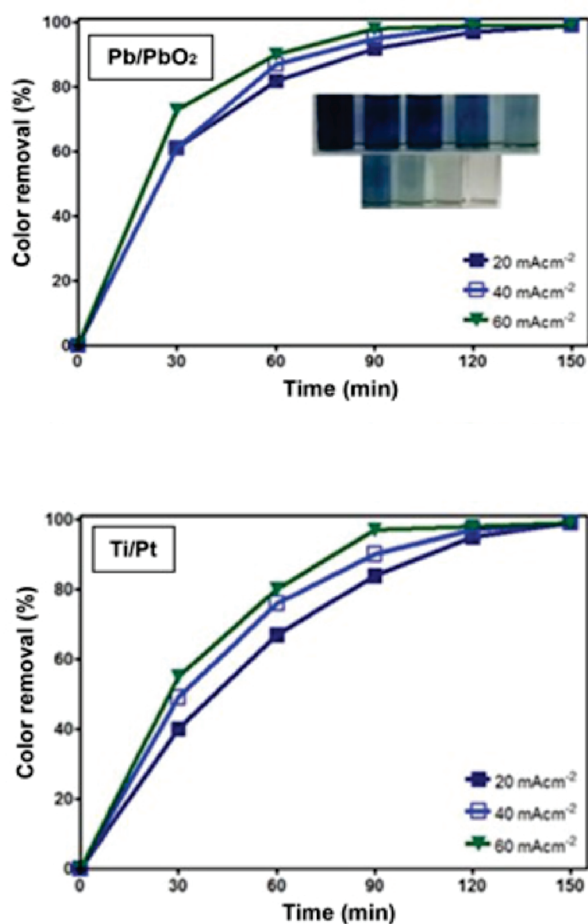


Figure 4. Influence of current density on the removal of Novacron Blue color by electrochemical oxidation at pH 4.5.

Fonte: elaborada pelos autores.

The increase in current density provides maximum O₂ evolution in the reaction medium, increasing the degradation and the rate of interaction

Table 2

Energy consumption for anodic oxidation of the novacron blue dye at different current densities

Electrode	Current density (mA/cm ²)	pH	Energy consumption (kWh/m ³)	Cost (R\$)/m ³
Pb/PbO ₂	20	4.5	31.09	15.73
	40		91.48	46.29
	60		152.47	77.15
Ti/Pt	20	4.5	30.89	15.63
	40		92.76	46.94
	60		150.09	75.95

Experimental conditions: Dye concentration: 190 mg/L; Temperature: 30 °C; Electrolyte: Na₂SO₄ 0.25 mol/L.

Fonte: elaborada pelos autores.

3.1.2 Adsorption test

Figure 5 shows the study of the adsorption balance based on the influence of pH on the color removal during the process of adsorption of the synthetic effluent containing the Novacron Blue dye using expanded perlite as an adsorbent. From these results, there was no complete removal of the color, because in 20 minutes the adsorbent saturation process is observed. Thus, at pH 1 there was a 30.0% removal, at pH 4.5 a 35.2% removal and at pH 8 a 39.5% removal. These data indicate that for the conditions of concentration, mass of the adsorbent and temperature it was not possible to achieve the total removal of the color of Novacron Blue using only the adsorption treatment.

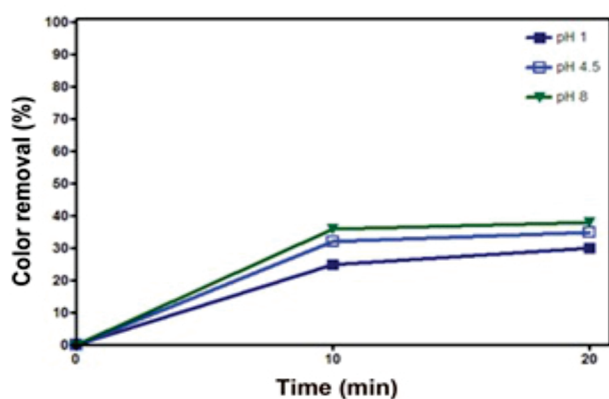


Figure 5. Influence of pH on the color removal of Novacron Blue by the adsorption process.

Fonte: elaborada pelos autores.

The adsorption process is a physical-chemical phenomenon that depends on factors related to the adsorbent (expanded perlite) and adsorbate (dye molecules): such as adsorbent porosity, size of the adsorbate molecule and especially the type of interaction between the dye and the adsorbent material. The adsorption test showed a quick saturation of the active sites of the adsorbent, that is, of the silanol groups (Si-OH) present on the surface of the expanded perlite, this indicates a high interaction with the Novacron Blue molecules and mainly attributed to the considerable size large number of dye molecules that quickly saturate the adsorbent, lowering the adsorptive efficiency of expanded perlite (ALMEIDA et al., 2017).

After performing the treatments in isolation, the treatment was applied sequentially (electrochemical oxidation/adsorption), in order to observe the influence of the sequence on the behavior of some conditions, such as: minimization of the total treatment time, decreased consumption energy and consequent financial cost, possibility of color retention and intermediary compounds of electrochemical oxidation by the adsorbent (expanded perlite) used, thus promoting a lowering of the levels of total organic carbon.

3.2 Sequential treatment:

electro-oxidation/adsorption of Novacron Blue

When performing the individual treatments, it was observed that it was not possible under the conditions analyzed to obtain a favorable color removal of the dye considering only a single type of treatment (electro-oxidation or adsorption). The experiments involving electrochemical oxidations obtained total color removal, but it took a long time (150 minutes) for this to happen, which resulted in high energy consumption, making the process economically unfeasible. The adsorption using the expanded perlite as an adsorbent was not able to promote the total removal of the color from the synthetic effluent of the dye under the mentioned conditions. Therefore, it is

3.2.1 Influence of pH in the sequential electro-oxidation/adsorption process

Figure 6 shows the result of the percentage of color removal from Novacron Blue, using the Pb/PbO₂ or Ti/Pt electrode for all studied pH values. There is an influence of the pH in the removal of the color because it is observed that in values of acid pH there is a greater facility in the removal of the color in the electro-oxidative treatment. Other works observing these aspects have also been developed and the authors explain that in this case there is a greater production of OH that accelerates the oxidation of organic compounds (MARTÍNEZ-HUITLE & BRILLAS, 2009; Carvalho et al., 2011; ROCHA et al., 2012).

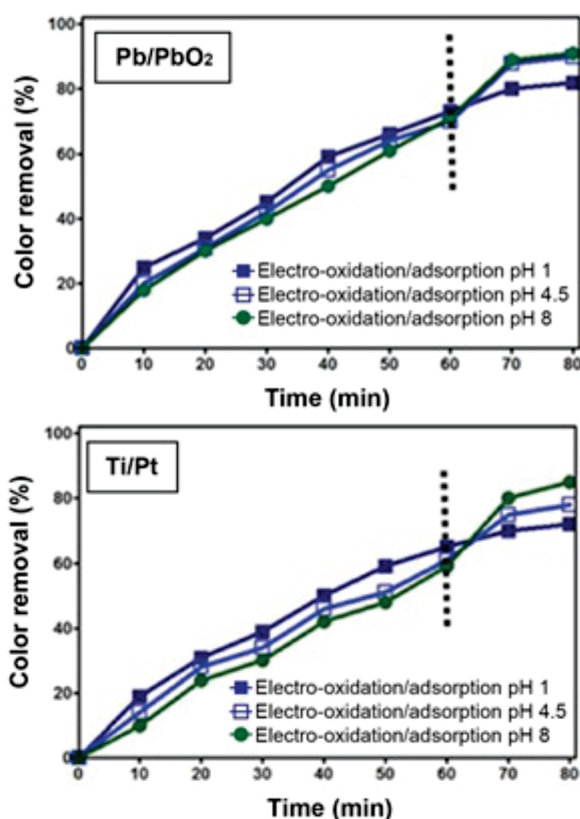


Figure 6. Influence of the pH of the synthetic effluent of Novacron Blue during the sequential electro-oxidation/adsorption treatment (current density 20 mAcm⁻²)

Fonte: elaborada pelos autores.

An important point to be discussed on the influence of pH on the electrochemical oxidation process are the types of molecules present in the reaction medium when changing the pH of the medium. As can be seen in Fig. 6, the process of degradation

(color removal) of the Novacron Blue dye is higher in acidic pH (pH 1), this is because in this pH value chemical species less resistant to attack by hydroxyl radicals (OH) are present in the reaction medium, increasing the efficiency of the electro-oxidative process. Azo dyes present an important balance when they undergo pH variation in aqueous solution, the azohydrazone tautomerism (Reaction 1) in which the hydrazone species (R-NH-N = R) is more stable in alkaline pH than the azo species in the dye (RN = NR), stable at acid pH. This justifies the small decrease in the efficiency of removing the color of Novacron Blue at alkaline pH, due to the presence of the hydrazone species. At pH 1 the azo species of the dye is the most stable and predominant in equilibrium, being more easily degraded by breaking the azo bond (chromophore group, -N=N-) of the dye, removing its strong and persistent color via electrochemical oxidation (Hunger, 2007; Xia et al., 2019).



Reaction 1. Azohydrazone tautomerism

Where -N=N- is the azo group of Novacron Blue, H is the hydrogen atom and R represents the other organic groups of the dye molecule (Fig. 1) just to simplify the equilibrium reaction.

As shown in Fig. 6, color removal is more efficient the lower the pH of the medium. Another factor deserves to be discussed about the chemical structure of Novacron Blue: at acid pH the amino groups (NH₂) of the chemical structure of the dye are protonated (Fig. 1), offering the dye molecules a cationic character, conferring instability and consequently they are more easily oxidized, as it increases the reactivity of the molecule with the radicals formed during electrolysis. This better justifies the degradation of the azo form (R-N=N-R) of the dye (Vasconcelos et al., 2016).

Already from 60 minutes after electrooxidation, the adsorption test starts, and the pH most efficient was pH 8. According to Almeida et al., (2019), the predominant species even with pH variations on the

silica surface, like expanded perlite, it is the Si-OH groups that interact with the by-products of degradation of the electro-oxidation of the dye, described in section 3.3.3 of this work.

The efficiency of the electro-oxidation/adsorption process for the Pb/PbO₂ and Ti/Pt anodes were summarized in Table 3. The removal of the color, as well as the degradation process was more efficient when using the Pb/PbO₂ anode reaching almost all (99.0%) with pH 1 and current density of 60 mA/cm² in 80 minutes of total treatment. This shows the efficiency of the sequential treatment.

Table 3

Novacron Blue color removal efficiency by sequential electro-oxidation/adsorption treatment

pH	Current density (mA/cm ²)	Color removal efficiency (%)	
		Ti/Pt	Pb/PbO ₂
1	20	72	92
	40	87	94
	60	90	99
4.5	20	78	90
	40	89	95
	60	92	96
8	20	85	91
	40	88	96
	60	94	98

Experimental conditions: Dye concentration: 190 mg/L; Adsorption time: 20 minutes; Electro-oxidation time: 60 minutes; Temperature: 30 °C; Electrolyte: Na₂SO₄ 0.25 mol / L.

Fonte: elaborada pelos autores.

Because the Ti/Pt anode is of the “active” type and the oxidizing species originating from it are the MO type oxides, due to the interaction between the electrode (M) and the hydroxyl radicals (OH) generated on the electrode surface, lowering the efficiency of the dye electrooxidation compared to the “non-active” Pb/PbO₂ electrode. On the other hand, with the surface of an “inactive” anode, this type of interaction is so weak that it allows the direct reaction of OH with organic compounds more quickly. Then, in the Pb/PbO₂ electrode, the radicals (OH) formed by the oxidation of water can be converted into molecular oxygen, or contribute to the complete oxidation of organic

compounds (Araújo, 2014; Malpass et al., 2008; Miwa et al., 2006).

3.2.2 Influence of temperature on the sequential electro-oxidation/adsorption process

In electrochemical oxidation experiments, the following parameters were considered: current density of 20 mA/cm², time of 40 minutes. For the adsorption experiments, the following parameters were considered: mass of the adsorbent (expanded perlite) 500 mg, contact time 10 minutes. The study of the influence of temperature on the sequential treatment (electro-oxidation/adsorption) was carried out at different pH values of the medium already mentioned (pH 1; 4.5 and 8). Fig. 7 shows the influence of temperature on the treatment of Novacron Blue by anodic oxidation/adsorption.

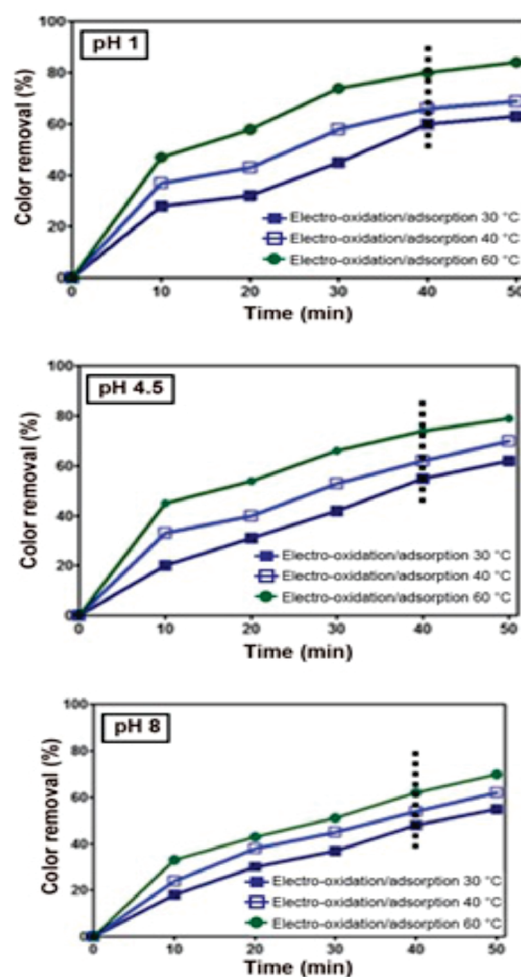


Figure 7. Influence of temperature in the process of treatment of synthetic effluent of Novacron Blue using electro-oxidation/adsorption (current density 20 mA/cm²) with Pb/PbO₂ anode

Fonte: elaborada pelos autores.

The results obtained show that the increase in temperature had a significant impact on the kinetics of the electrochemical oxidation and adsorption reactions of novacron blue, since the color removal increases considerably as the temperature increases (30, 40 and 60 °C). With this increase, it is possible to observe the reduction in time, both for electrolysis and adsorption, necessary for color removal. The results indicated an increase in color removal from 63% to 84% (pH 1), from 62% to 79% (pH 4.5) and from 55% to 70% (pH 8) for the tests with electrode Pb/PbO₂ (Fig.7). The color removal increased from 52% to 70% (pH 1), from 55% to 68% (pH 4.5) and from 48% to 67% (pH 8) using Ti/Pt electrode (Fig.8).

The increase in temperature increases the current efficiency, favoring the generation of oxidizing radicals (OH) improving the efficiency of the chemical oxidation process. This increase in temperature favors the mineralization of organic matter, which are complex chemical reactions that require more energy for their occurrence (VASCONCELOS, *et al.* 2016). Other authors have also observed that the increase in temperature influences both the electrochemical oxidation process (ROCHA *et al.*, 2012; Tavares *et al.*, 2012) and the adsorption process (Doğan, *et al.*, 2004; Govindasamy, 2009)

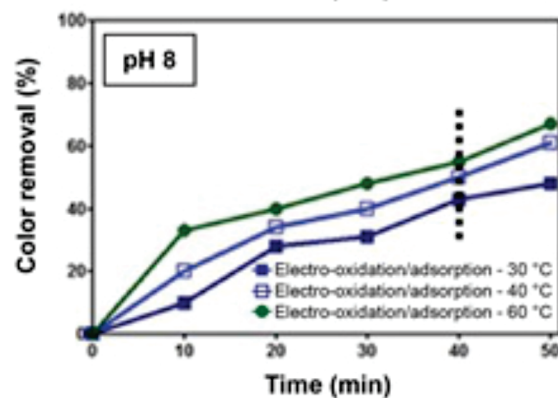


Figure 8. Influence of temperature in the process of treatment of Novacron Blue synthetic effluent using electro-oxidation/adsorption (current density 20 mA/cm²) with Ti/Pt anode

Fonte: elaborada pelos autores.

3.3 Sequential adsorption/electro-oxidation treatment of Novacron Blue

3.3.1 pH influence

In this situation, the reverse treatment was considered, firstly the one of adsorption in a time of 20 minutes for the Novacron Blue and then the one of electro-oxidation in a time of 60 minutes, also using the electrodes of Ti/Pt and Pb/PbO₂ for all studied pH values.

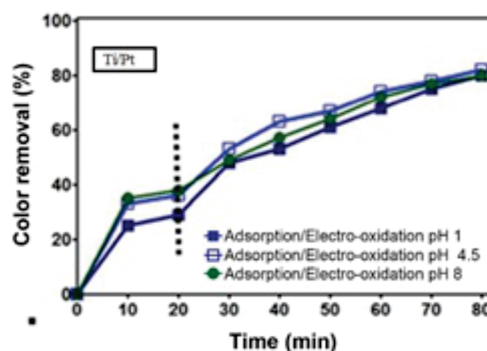
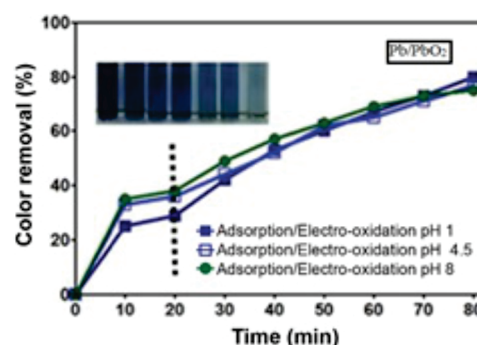
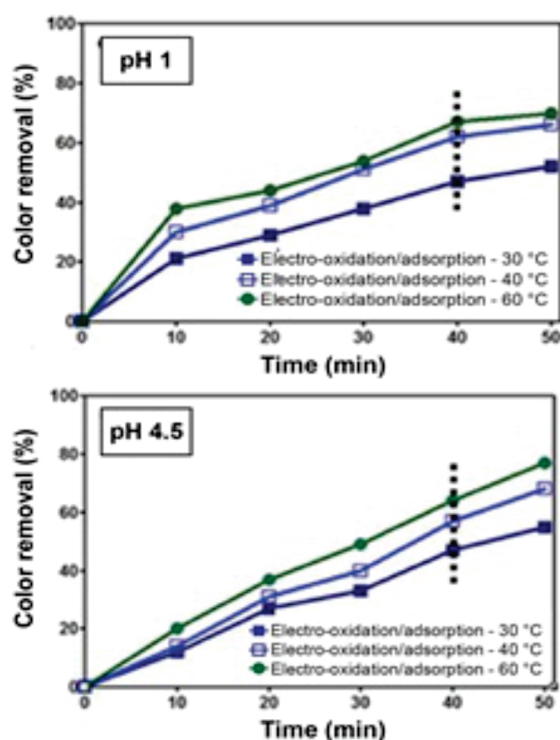


Figure 9. Influence of the pH of the synthetic effluent of Novacron Blue during the sequential adsorption/electro-oxidation treatment (current density 20 mA/cm²)

Fonte: elaborada pelos autores.

The results showed (Fig.9) that the increase in pH values had a satisfactory influence on the adsorption experiments. The increase in pH favors the adsorption step as it ensures the Bronsted acid-base interaction between the perlite silanol groups (Si-OH) and the amino groups (-NH₂) of the dye (ALMEIDA, *et al.*, 2017). As for the electro-oxidation stage, as already discussed, the pH does not cause very significant variations, however in acid pH the process is a little more favored due to the higher production of radicals OH, this is because in this pH value less resistant chemical species (azo form of the dye) to attack by hydroxyl radicals (OH) are present in the reaction medium, increasing the efficiency of the electro-oxidative process (HUNGER, 2007; XIA *et al.*, 2020).

Table 4 summarizes the efficiency of the sequential adsorption/electro-oxidation process for novacron blue using the Pb/PbO₂ and Ti/Pt anodes.

Table 4

Efficiency of the sequential adsorption/electro-oxidation process for Novacron Blue using Pb/PbO₂ and Ti/Pt anodes

pH	Current density (mA/cm ²)	Color removal efficiency (%)	
		Ti/Pt	Pb/PbO ₂
1	20	80	80
	40	82	87
	60	93	95
4,5	20	77	82
	40	86	89
	60	90	94
8	20	75	80
	40	89	93
	60	87	94

Experimental conditions: Dye concentration: 190 mg/L; Adsorption time: 20 minutes; Electro-oxidation time: 60 minutes; Temperature: 30 °C; Electrolyte: Na₂SO₄ 0.25 mol/L.

Fonte: elaborada pelos autores.

As the Pb/PbO₂ anode is of the “non-active” type, it allows the direct oxidation of organic molecules by hydroxyl radicals (OH), being more efficient than the Ti/Pt electrode as the results of this study show TOC (Araújo, 2014; Malpass *et al.*, 2008; Miwa *et al.*, 2006; ROCHA *et al.*, 2012). The Pb/PbO₂ anode achieved a Novacron Blue removal efficiency of 95% removal in 60

minutes of testing, while the Ti/Pt anode removed 93% of the dye (at a current density of 60 mA/cm²).

3.3.2 Influence of temperature

The Fig. 10 shows the influence of temperature on color removal as a function of time, considering the sequential adsorption/electrochemical oxidation processes. For the adsorption experiments, the following parameters were considered: mass of the adsorbent 500 mg, contact time of 10 minutes considering the same pH values (1, 4.5 and 8). In the electrochemical oxidation experiments, the following parameters were considered: current density of 20 mA/cm², time of 40 minutes under the same pH conditions already mentioned.

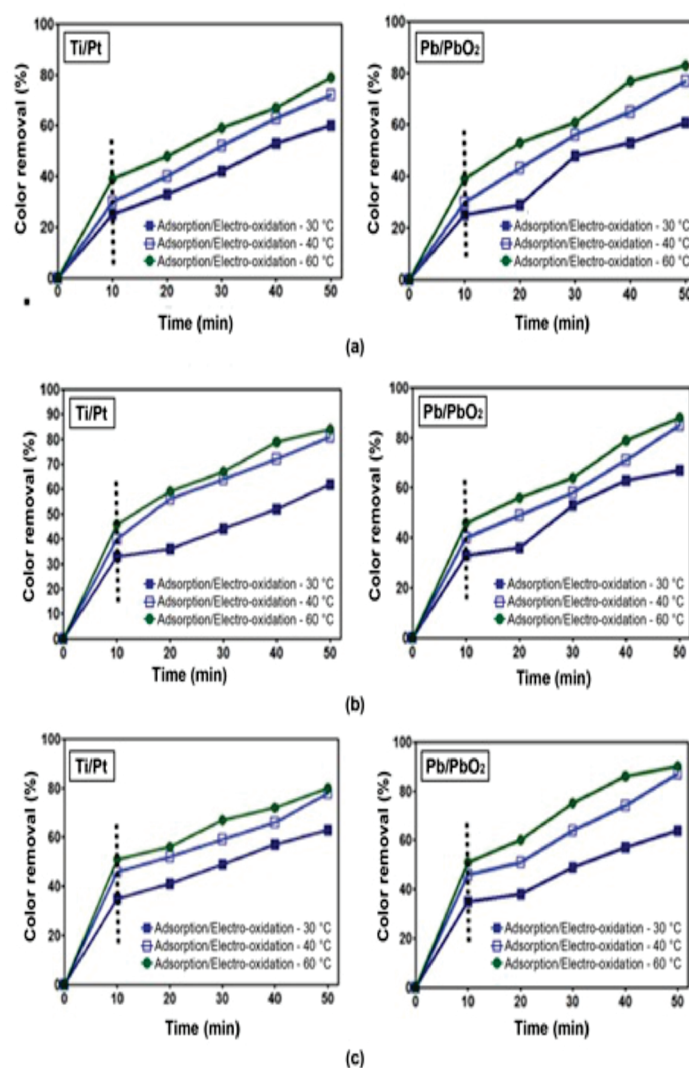


Figure 10. Influence of temperature on color removal for sequential adsorption/electro-oxidation processes at (a) pH 1, (b) pH 4.5 and (c) pH 8

Fonte: elaborada pelos autores.

The results obtained show that the increase in temperature (30, 40 and 60 °C) also influenced in a satisfactory way the inverse treatment process (adsorption/electro-oxidation). The color removal of the Novacron Blue dye increased from 60% to 79% (pH 1), from 70% to 84% (pH 4.5) and from 63% to 80% (pH 8) using platinum electrode. When using lead oxide electrode, the results increased from 61% to 83% (pH 1), from 67% to 88% (pH 4.5) and from 64% to 90% (pH 8), as shown in Table 5.

Table 5

Influence of temperature on removing the color of the Novacron Blue dye during sequential adsorption/electrochemical oxidation treatment

pH	Temperature (°C)	Color removal efficiency (%)	
		Ti/Pt	Pb/PbO ₂
1	30	60	61
	40	72	77
	60	79	83
4.5	30	70	67
	40	81	85
	60	84	88
8	30	63	64
	40	78	87
	60	80	90

Experimental conditions: Dye concentration: 190 mg/L; Adsorption time: 20 minutes; Electro-oxidation time: 60 minutes; Current density: 20mA/cm²; Electrolyte: Na₂SO₄ 0.25 mol/L.

Fonte: elaborada pelos autores.

The use of the adsorption/electro-oxidation treatment sequence favored the removal of the Novacron Blue color as described in Table 5, and the results for both anodes were quite similar (Ti/Pt and Pb/PbO₂). The adsorption process is an efficient technique for removing color from dyes in aqueous solution, the use of this process before electrochemical oxidation adds an advantage to this treatment in terms of reducing the color of the synthetic effluent. The active sites of expanded perlite, the silanol groups (Si-OH), have an affinity for the Novacron Blue molecules, mainly for the amino groups (-NH₂) of their structure, which in alkaline pH ensure their Bronsted acid-base interaction already observed in the literature when

dealing with the interaction of silicas and organic molecules (ALMEIDA *et al.*, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2019). This adsorptive capacity of the perlite with Novacron Blue removes part of the dye molecules from the aqueous solution, until reaching its saturation balance (in 20 minutes), as it has already been seen that the adsorption alone does not have a considerable efficiency, and the process electrochemical complements the treatment with degradation and consequent removal of the color from the azo dye.

3.4 Energy consumption and cost estimation

Tables 6 and 7 show the energy cost required to remove the color of the Novacron Blue dye in 60 minutes under different conditions of current densities (20, 30 and 60 mA/cm²) and temperature (30, 40 and 60 °C) at pH values (1, 4.5 and 8) using the lead electrode (Pb/PbO₂) and Ti/Pt as an anode.

In Table 6, during the electrolysis of the synthetic solution using the Pb/PbO₂ electrode, the energy consumption of the process is shown to be proportional to the current density applied and the increase in the pH value. At pH 1 there was an increase from 9.26 kWh/m³ (20 mA/cm²) to 37.10 kWh/m³ (60 mA/cm²). At pH 4.5 there is an increase from 11.14 kWh/m³ (20 mA/cm²) to 48.37 kWh/m³ (60 mA/cm²). At pH 8 there is an increase from 8.02 kWh/m³ (20 mA/cm²) to 50.65 kWh/m³ (60 mA/cm²).

Table 6

Energy consumption by volume of synthetic effluent of Novacron Blue treated during anodic oxidation (Pb/PbO₂) for different current densities and pH values

pH	Current density (mA/cm ²)	Energy consumption (kWh/m ³)	Cost (R\$)
1	20	9.26	4.69
	40	21.18	10.72
	60	37.10	18.77
4.5	20	11.14	5.64
	40	28.90	14.62
	60	48.37	24.48
8	20	8.02	4.06
	40	31.19	15.78
	60	50.65	25.63

Experimental conditions: Pb/PbO₂ electrode. Dye concentration: 190 mg/L; Temperature: 30 °C; Electrolyte: Na₂SO₄ 0.25 mol/L.

Fonte: elaborada pelos autores.

In Table 7, it can be seen that, during the electrolysis of the synthetic solution using the Ti/Pt anode, the energy consumption of the process is shown to be proportional to the current density applied and the increase in the pH value. At pH 1 there was an increase from 8.70 kWh/m³ (20mA/cm²) to 36.00 kWh/m³ (60mA/cm²). At pH 4.5 there is an increase from 10.88 kWh/m³ (20mA/cm²) to 47.12 kWh/m³ (60mA/cm²). At pH 8 there is an increase from 8.52 kWh/m³ (20mA/cm²) to 51.68 kWh/m³ (60mA/cm²). The results show that the increase in current density led to an increase in energy consumption and, consequently, to the cost associated with the electrochemical process. It is observed that at pH 8, even without very significant variation, energy consumption was higher for both anodes (Pb/PbO₂ and Ti/Pt) at this pH due to the presence of species more resistant to oxidative treatment (hydrazone form of Novacron Blue), resulting in lower efficiency and higher energy consumption at this pH.

Table 7

Energy consumption of Novacron Blue treated by anodic oxidation (Ti/Pt) for different current densities and pH values

pH	Current density (mA/cm ²)	Energy consumption (kWh/m ³)	Cost (R\$)
1	20	8.70	4.40
	40	20.59	10.42
	60	36.00	18.22
4.5	20	10.88	5.51
	40	28.47	14.41
	60	47.12	23.84
8	20	8.52	4.31
	40	33.12	16.76
	60	51.68	26.15

Experimental conditions: Ti/Pt electrode. Dye concentration: 190 mg/L; Temperature: 30 °C; Electrolyte: Na₂SO₄ 0.25 mol/L.

Fonte: elaborada pelos autores.

Table 8 shows the energy consumption for the Novacron Blue dye using the Pb/PbO₂ anode, taking into account the temperature variation during the electro-oxidative process over a period of 40 minutes and a current density of 20 mA/cm² for all pH values studied. It is also possible to observe that as the

temperature increases, energy consumption decreases satisfactorily for all pH values studied.

Table 8

Energy consumption for anodic oxidation (Pb/PbO₂) of Novacron Blue dye for different temperatures and pH values

pH	Temperature (°C)	Energy consumption (kWh/m ³)	Cost (R\$)
1	30	9.26	4.69
	40	6.18	3.13
	60	5.90	2.99
4,5	30	11.14	5.64
	40	8.64	4.37
	60	7.91	4.00
8	30	8.02	4.06
	40	5.23	2.65
	60	4.92	2.49

Experimental conditions: Pb/PbO₂ electrode. Dye concentration: 190 mg/L; Current density: 20 mAcm⁻²; Electrolyte: Na₂SO₄ 0.25 mol/L.

Fonte: elaborada pelos autores.

Table 9 shows the energy consumption for the Novacron Blue dye, taking into account the temperature variation during the electro-oxidative process, with Ti/Pt anode over 40 minutes and a current density of 20 mA/cm² for all the studied pH values. It is possible to observe that at pH 1, there was a reduction from 8.70 kWh/m³ to 5.04 kWh/m³. At pH 4.5 consumption was reduced from 10.88 kWh/m³ to 7.29 kWh/m³. At pH 8, the reduction was from 8.52 kWh/m³ to 4.98 kWh/m³, when the temperature varied from 30 to 60 °C.

Table 9

Energy consumption for anodic oxidation (Ti/Pt) of the Novacron Blue dye for different temperatures and pH values

pH	Temperature (°C)	Energy consumption (kWh/m ³)	Cost (R\$)
1	30	8.70	4.40
	40	5.83	2.95
	60	5.04	2.55
4,5	30	10.88	5.51
	40	7.29	3.69
	60	6.89	3.49
8	30	8.52	4.31
	40	5.70	2.88
	60	4.98	2.52

Experimental conditions: Ti/Pt electrode. Dye concentration: 190 mg/L; Current density: 20 mA/cm²; Electrolyte: Na₂SO₄ 0.25 mol/L.

Fonte: elaborada pelos autores.

As already discussed, pH did not significantly affect the efficiency of the electro-oxidative process because the pH effect is not a very relevant parameter in terms of electrochemical oxidation efficiency (VASCONCELOS *et al.*, 2016). It is important to highlight that this reduction in the energy cost that occurs when there is an increase in temperature can be explained by the fact that as the temperature rises, less time will be necessary for an increase in the percentage of color removal to occur, thus, less time will be needed in the electro-oxidation process and a consequent saving in the cost of the process. These calculations were performed considering the cost of electricity in Brazil in the amount of R\$ 0.506 (R\$ = Brazilian (Real currency), excluding the amount of Brazilian taxes) per kWh (Data from ANEEL – National Electric Energy Agency/Brazil). The expense of the process was studied in order to show the viability of the process as a green alternative.

3.3 Efficiency of the analytical method

3.3.1 Electrical conductivity analysis

In order to ascertain whether the expanded perlite was decreasing the ionic strength because it was adsorbing the support electrolyte (Na_2SO_4) used in the solution thus causing an increase in the resistance of the reaction medium and consequently a decrease in the efficiency of the electrochemical process, conductivity analyzes were performed solution of Na_2SO_4 solution (0.25 mol/L) before and after adsorption.

The values were obtained through electrical conductivity analysis, which are as follows: before adsorption (27.23 mS/cm), in 10 minutes of adsorption (26.67 mS/cm), 20 minutes (26.19 mS/cm) and 30 minutes (26.09 mS/cm). Therefore, the displayed values show that there was no adsorption of Na_2SO_4 by the expanded perlite, thus not affecting the electrochemical oxidation process due to a possible adsorption of the electrolyte.

3.3.2 Total organic carbon (TOC) analysis

3.3.2.1 TOC results for the electro-oxidation/adsorption sequence

In order to observe the removal of organic matter after electrochemical oxidation experiments, TOC analyzes were performed. Table 10 summarizes the results of removal of TOC after the sequential electro-oxidation/adsorption treatment when using as an anode Pb/PbO_2 and Ti/Pt at different pH (1, 4.5 and 8) in the current densities evaluated in this study. Analyzes of samples submitted to the adsorption process after electro-oxidation were also carried out in order to assess whether there was influence of adsorption on the removal of organic matter.

Current density is the driving force for electrochemical reactions. The increase in current density ($60 \text{ mA}/\text{cm}^2$) provides maximum production of hydroxyl radicals ($\text{OH}\cdot$) in the reaction medium, increasing the degradation of dye molecules (SINGH *et al.*, 2016; DOS SANTOS *et al.*, 2020). This explains the increased removal of the TOC with increased current density (Fig.11).

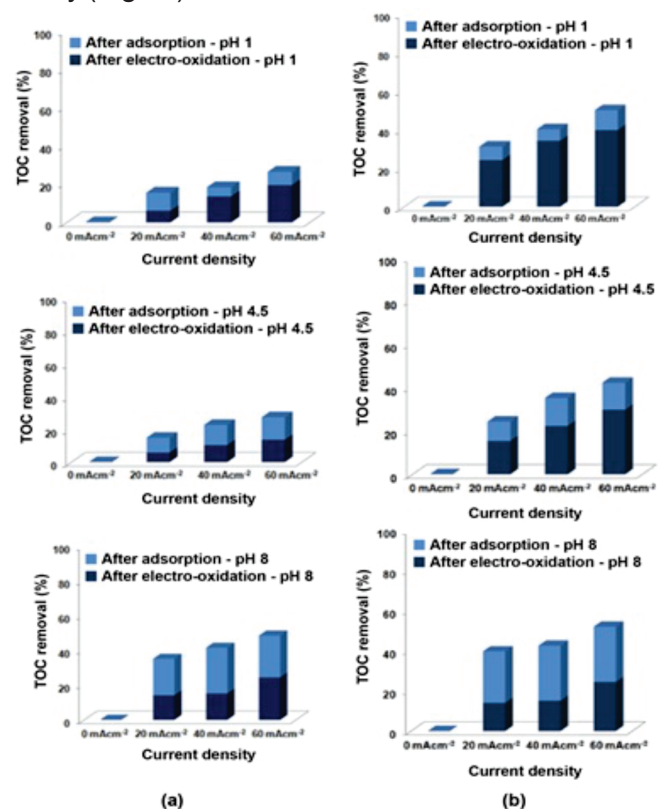


Figure 11. Percentage of TOC removal for the novacron blue dye after sequential electro-oxidation/adsorption treatment at different current densities for the (a) Pb/PbO_2 and (b) Ti/Pt electrodes
Fonte: elaborada pelos autores.

Thus, considering the electro-oxidative treatment, it was found that the Pb/PbO₂ electrode showed a higher percentage of TOC removal compared to the values obtained for the Ti/Pt electrode, considering all the current density values studied after time 60 minutes. Previous work shows that this can be explained because the Ti/Pt anode is an “active” electrode, the oxidizing species originating from it are the MO type oxides, due to the interaction between the electrode (M) and hydroxyl radicals (OH) electro-generated on the electrode surface, lowering the efficiency of the dye electro-oxidation compared to the “non-active” Pb/PbO₂ electrode. Thus, the Ti/Pt electrode can only cause the azo bond to break (-N=N-) of Novacron Blue (chromophore group), removing the color from the aqueous synthetic effluent, but presenting a low mineralization efficiency of organic matter when compared to the “non-active” electrode (Pb/PbO₂). Pb/PbO₂ allows the direct oxidation of dye molecules by the attack of hydroxyl radicals (OH) being more efficient in the degradation process by generating by-products and mineralizing the organic load, causing a better reduction in TOC (Araújo, 2014; Malpass et al., 2008; Miwa et al., 2006; ROCHA *et al.*, 2012).

It is observed that in all pH values, the removal of TOC was greater after the sequential adsorption process with the expanded perlite after electro-oxidation. This indicates that the intermediate compounds formed after the Novacron Blue degradation process were adsorbed by the expanded perlite used in this study as an adsorbent. It is also observed that this increase was more intense at pH 8 where it is known that the increase in pH favors the adsorption step as it ensures the Bronsted acid-base interaction between the silanol groups of the perlite (Si-OH) and the amino groups (-NH₂) of the dye (ALMEIDA *et al.*, 2017).

Another point to be highlighted for lower efficiency in reducing TOC with Ti/Pt anode compared to Pb/PbO₂, is that the possible intermediates formed as by-products of electro-oxidation degradation with Ti Pt can accumulate on the surface of the electrode and

cause a decrease in its efficiency. Therefore, for there to be total elimination of organic compounds in the Ti/Pt electrode it would be necessary to significantly increase the oxidation time with which there would be an increase in energy consumption, which would make the process unfeasible –(Chou et al., 2010; Oliveira et al., 2019).

Table 10
Results of removal of TOC after the sequential electrooxidation/adsorption treatment when using as Pb/PbO₂ and Ti/Pt anodes

pH	Anode	Current density (mA/cm ²)	TOC removal (%)
1	Ti/Pt	20	31.09
	Ti/Pt	60	50.00
	Pb/PbO ₂	20	20.12
4.5	Pb/PbO ₂	60	37.17
	Ti/Pt	20	24.29
	Ti/Pt	60	42.22
8	Pb/PbO ₂	20	21.09
	Pb/PbO ₂	60	35.65
	Ti/Pt	20	39.09
	Ti/Pt	60	51.98
	Pb/PbO ₂	20	40.08
	Pb/PbO ₂	60	60.10

Fonte: elaborada pelos autores.

Another point to be highlighted for lower efficiency in reducing TOC with Ti/Pt anode compared to Pb/PbO₂, is that the possible intermediates formed as by-products of electro-oxidation degradation with Ti Pt can accumulate on the surface of the electrode and cause a decrease in its efficiency. Therefore, for there to be total elimination of organic compounds in the Ti/Pt electrode it would be necessary to significantly increase the oxidation time with which there would be an increase in energy consumption, which would make the process unfeasible –(Chou et al., 2010; Oliveira et al., 2019).

Thus, the data obtained demonstrate that the sequential treatment contributed satisfactorily to the removal of organic matter because of the influence of adsorption, which favored the partial removal of intermediate compounds formed as products of electrochemical oxidation.

3.3.2.2 TOC results for the adsorption/electro-oxidation sequence

TOC analyzes were also carried out for experiments that followed the reverse treatment process, where first the adsorption treatment was carried out and then the electro-oxidative treatment. Table 11 summarizes the results of TOC removal after the sequential adsorption/electro-oxidation treatment when using as an anode Pb/PbO₂ and Ti/Pt at different pH (1, 4.5 and 8) at the minimum current densities (20 mA/cm²) and maximum (60 mA/cm²) of this study. In this case, in the TOC analysis, only the electro-oxidative treatment was considered since the adsorption treatment was carried out in the first place and it does not generate intermediate compounds.

The results obtained through the analyzes performed with the Pb/PbO₂ anode showed a higher TOC removal content when compared to those performed with the Ti/Pt electrode, for all the current density and pH values analyzed (Fig. 12). As already discussed, Pb/PbO₂ allows the direct oxidation of dye molecules by the attack of hydroxyl radicals (OH) being more efficient in the degradation process by generating by-products and mineralizing the organic load, causing a better reduction in TOC (ARAÚJO, 2014; MALPASS et al., 2008; MIWA et al., 2006; ROCHA et al., 2012).

However, as shown in Table 11, the efficiency of reducing the TOC due to the inversion of the sequential treatment process (adsorption before electro-oxidation), affected the effectiveness of the reduction of organic matter in the synthetic effluent, despite having favored the process of removing the dye color. This is perfectly explainable since the expanded perlite played a fundamental role in the process of removing the degradation by-products after the electro-oxidative oxidation of Novacron Blue, reducing the TOC with good efficiency (60.10%) due to the interaction of the Si-OH groups of the adsorbent with the intermediate compounds formed after electrooxidation with the Pb/PbO₂ electrode (identified by GC-MS).

Table 11

Results of TOC removal after sequential adsorption/ electro-oxidation treatment when using Pb/PbO₂ and Ti/Pt as anode

pH	Anode	Current density (mA/cm ²)	TOC removal (%)
1	Ti/Pt	20	10.33
		60	21.46
	Pb/PbO ₂	20	25.18
		60	38.36
4,5	Ti/Pt	20	7.78
		60	19.54
	Pb/PbO ₂	20	21.18
		60	42.16
8	Ti/Pt	20	17.39
		60	29.65
	Pb/PbO ₂	20	31.24
		60	47.75

Fonte: elaborada pelos autores.

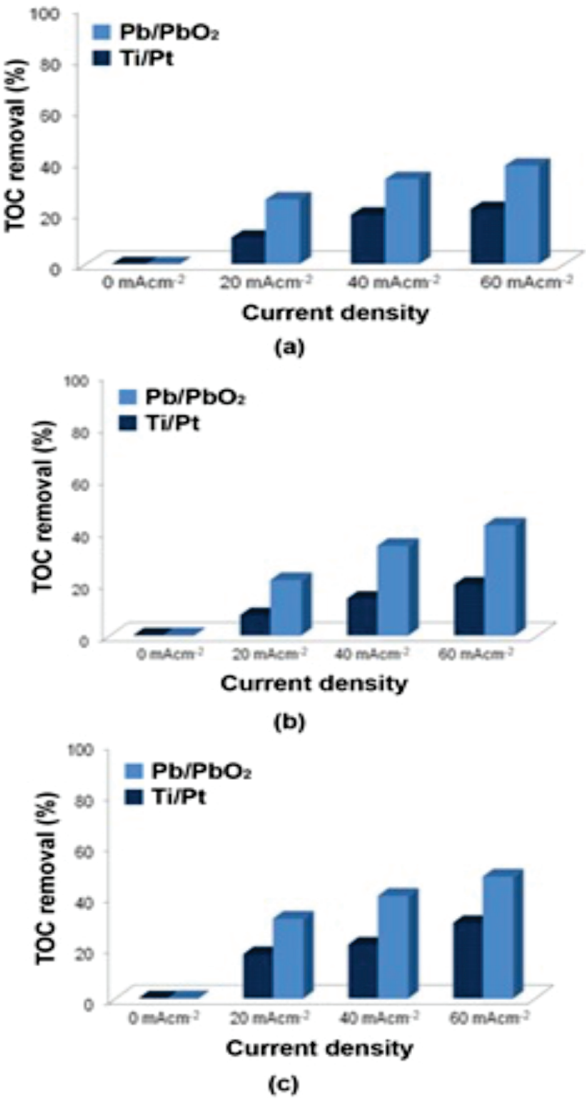


Figure 12. Percentage of TOC removal for Novacron Blue dye after sequential adsorption/electro-oxidation treatment at different current densities in (a) pH 1, (b) pH 4.5 and (c) pH 8

Fonte: elaborada pelos autores.

3.3.3 Analysis of electrochemical oxidation products and efficiency of the adsorption process by GC-MS

In order to observe the by-products formed after the electrochemical oxidation experiments, GC-MS analyzes were performed for all pH values (1 and 4.5) at a current density of 20 mA/cm² in a time of 60 minutes of electrolysis for the study with the Pb/PbO₂ anode as this was the one with the best results of the electro-oxidative process (color removal efficiency, TOC reduction efficiency and energy cost). Analyzes of the samples submitted to the adsorption process after electro-oxidation were also carried out in order to assess whether there was influence of the adsorption in the removal of the formed intermediate compounds.

Figure 13 shows the intermediate compounds formed during the electro-oxidation (with the Pb/PbO₂ anode) of the Novacron Blue dye. The results obtained after 60 minutes of electro-oxidation to pH 1 showed the formation of aniline, 3-methyl benzoic acid, phthalic acid, 1,6-dimethyl naphthalene and the hydroxybenzene sulfonate ion. At pH 4.5, with the exception of the hydroxybenzene sulfonate ion, the formation of the same compounds that appeared at pH 1 is observed, but the presence of naphthalene appears.

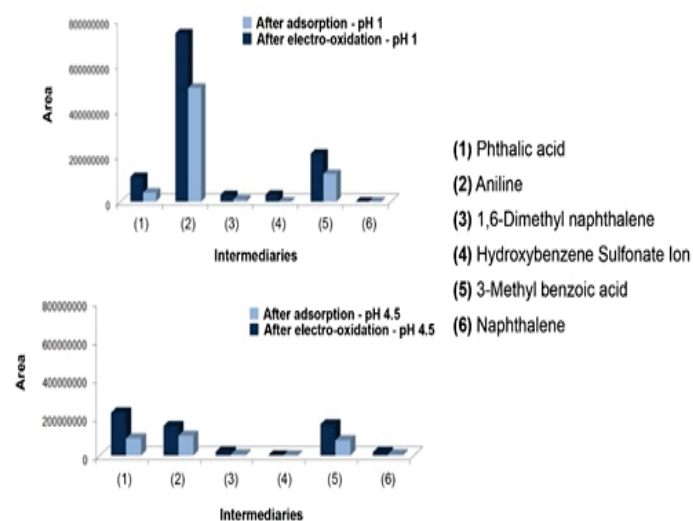


Figure 13. Electro-oxidation degradation products of Novacron Blue dye identified by GC-MS using Pb/PbO₂ anode
Fonte: elaborada pelos autores.

These products can be explained considering that in the Pb/PbO₂ electrode the reactions between the radicals (OH) and the organic compounds occur directly on the electrode surface, promoting a greater reaction speed and forming degradation compounds due to the electrooxidation of the dye molecule directly (MARTINEZ-HUITLE *et al.*, 2004; PANIZZA & CERISOLA, 2007; BENSALAH, QUIROZ ALFARO & MARTÍNEZ-HUITLE, 2009; ROCHA *et al.*, 2012).

Observing the results of the adsorption after the electrochemical oxidation it is noticed that in all the cases of pH analyzed the adsorption with the expanded perlite was essential for the significant removal of the formed intermediates. These results indicate that the sequential treatments, in addition to contributing to the color removal of both dyes, also contribute to the removal of the formed intermediate compounds, since in this case, the expanded perlite adsorbed the by-products resulting from electrooxidation. These data were confirmed by the analysis of total organic carbon (TOC) which showed a significant removal of organic matter, after the sequential treatments of electro-oxidation/adsorption.

3.3.4 Evaluation of the removal of Pb residues by atomic absorption spectrometry (AAS) from electrooxidation

In order to observe the presence of lead in the treated effluent after the electrochemical oxidation/adsorption treatments using Pb/PbO₂ electrodes, atomic absorption analyzes were performed. These analyzes were obtained considering the mentioned pH values with a current density of 40 mA/cm², both after electro-oxidation and after adsorption in order to verify the influence of perlite on the adsorption of the said metal.

Figure 14 shows the results obtained through that technique. It was possible to observe that there was a small detachment of lead (in the order of ppm) from the electrode to the effluent during the electro-oxidative treatment. However, it is also observed that these values suffer a reduction when, after

electrochemical oxidation, the effluent goes to the adsorption treatment, in this way it is possible to verify that the expanded perlite acts by significantly adsorbing the lead that is in solution.

Thus, it has to be said that for the synthetic effluent of the Novacron Blue dye, the lead concentration values range from 2.34 to 1.87 mg/L (pH 1), 2.97 to 1.84 mg/L (pH 4.5) and 2.48 to 1.74 mg/L (pH 8), according to Fig. 14.

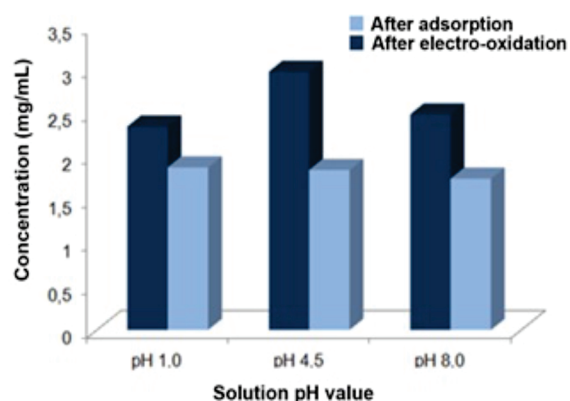


Figure 14. Total lead concentration obtained by Atomic Absorption Spectrometry using Pb/PbO₂ anode in the electro-oxidation of Novacron Blue dye

Fonte: elaborada pelos autores.

Therefore, expanded perlite acts as a good adsorbent for intermediate compounds formed after electrochemical degradation of the dye, as well as removing residual Pb ions from the electrode, making the sequential electro-oxidation/adsorption process a viable treatment for removing Novacron Blue from aqueous effluents.

4. CONCLUSIONS

The process of removing the Novacron Blue from aqueous solution by the sequential electrochemical oxidation/adsorption and adsorption/electro-oxidation technique proved to be effective considering the parameters analyzed in this work, since the isolated techniques were effective, as electro-oxidation alone requires a longer time test, resulting in a higher energy cost for total color removal

(150 minutes), and adsorption was unable to remove the color completely due to the fast saturation of the adsorbent. The electro-oxidation/adsorption sequence showed better results (color removal efficiency, TOC reduction efficiency and energy cost). The adsorption treatment was the indispensable tool in this study, since the expanded perlite (a low cost natural aluminosilicate) proved to be efficient in removing the degradation by-products generated after electro-oxidation of the dye, confirmed by the reduction of the total organic carbon of the samples. Therefore, the sequential electrochemical oxidation/adsorption technique for the treatment of wastewater containing Novacron Blue was highly effective and an excellent proposal for the environmental remediation of water bodies.

Acknowledgements

The Comissão de Apoio Pessoal do Ensino Superior (CAPES) with financial support and the Institute of Chemistry (IQ-UFRN) and PETROBRAS with inputs and instrumental support.

Interest conflicts

The authors declare that they have no conflicts of interest.

REFERENCES

- ALMEIDA, *et al.* Adsorption of erichrome black T from aqueous solution onto expanded perlite modified with orthophenanthroline. **Revista Virtual de Química**. 9 (2), p.502-513, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170029>. Acesso em: 09 ago. 2021.
- ARAÚJO, C. K. C *et al.* Electrochemical removal of synthetic textile dyes from aqueous solutions using Ti/Pt anode: role of dye structure. **Environmental Science and Pollution Research**, v.21, p.9777–9784, 2014.

BENSALAH, N., QUIROZ ALFARO, M.A., MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Electrochemical treatment of synthetic wastewaters containing Alphazurine A dye. **Chemical Engineering Journal**, v.149, p.348–352, 2009.

CARVALHO *et al.* Application of electrochemical oxidation as alternative for removing methyl green dye from aqueous solutions. **Latin American Applied Research**, v.41, p.127–144, 2011.

CHOU, *et al.* Comparison of removal of Acid Orange 7 by electrooxidation using various anode materials. **Desalination**, v.266, p.201–207, 2010.

COMNINELLIS, C.H.; PULGARIN, C. Electrochemical oxidation of phenol for wastewater treatment using SnO₂ anodes. **Journal of Applied Electrochemistry**, v.23, p.108–112, 1993.

ALMEIDA, *et al.* pH-Dependent release system of isoniazid carried on nanoparticles of silica obtained from expanded perlite. **Applied Surface Science**, v.489, p.297–312, 2019.

DOĞAN, M. *et al.* Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption onto perlite. **Journal of Hazardous Materials**, v.109(1–3), p.141–148, 2004.

DOS SANTOS *et al.* Vermiculite as heterogeneous catalyst in electrochemical Fenton-based processes: Application to the oxidation of Ponceau SS dye. **Chemosphere**, v. 240, p. 124838, 2020.

ELAISSAOUI, I. *et al.* Effect of coating method on the structure and properties of a novel PbO₂ anode for electrochemical oxidation of Amaranth dye, **Chemosphere**, v. 217, p.26–34, 2018.

GANESAN, S., AMIRTHALINGAM, M., & ARIVALAGAN, P. Absolute removal of ciprofloxacin and its degraded byproducts in aqueous solution using an efficient electrochemical oxidation process coupled with adsorption treatment technique, **Journal of Environmental Management** v.245(100), p.409–417, 2019.

GILPAVAS, E., DOBROSZ-GÓMEZ, I., & GÓMEZ-GARCÍA, M. Á. Optimization of sequential chemical coagulation - electro-oxidation process for the treatment of an industrial textile wastewater, **Journal of**

Water Process Engineering v.22, p.73–79, 2018.

GOVINDASAMY, V. *et al.* Removal of Malachite Green from Aqueous Solutions by Perlite. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, v.7. n. A43, 2009. <https://doi.org/10.2202/1542-6580.1889>. Acesso em: 16 sept. 2021.

HUNGER, K. **Industrial Dyes: chemistry, properties, applications**. Ed. Wiley-VCH, 648p, 2007.

KATHERESAN, V., KANSEDO, J., & LAU, S. Y. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods : A review, **Journal of Environmental Chemical Engineering** v.6 (June), p.4676–4697, 2018.

MALPASS, G. R. P. *et al.* Decolourisation of real textile waste using electrochemical techniques: Effect of electrode composition. **Journal of Hazardous Materials**, v 156(1–3), p.170–177, 2008.

MARTÍNEZ HUITLE, C. A; BRILLAS, E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. **Applied Catalysis B: Environmental**, v.87, p.105–145, 2009.

MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. *et al.* Electrochemical incineration of chloranilic acid using Ti/IrO₂, Pb/PbO₂ and Si/BDD electrodes. **Electrochemical Acta**, v.50, p.949–956, 2004.

MARTÍNEZ HUITLE, C. A; BRILLAS, E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: An updated review. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 166-167, p. 603-643, 2015

MIWA, D. W. *et al.* Electrochemical degradation of carbaryl on oxide electrodes. **Water Research**, v.40(17), p.3281–3289, 2006.

MU, B. *et al.* A water / cottonseed oil bath with controllable dye sorption for high dyeing quality and minimum discharges, **Journal of Cleaner Production**, v.236, 2019.

NATARAJAN, S. *et al.* Recent advances based on the synergetic effect of adsorption for removal of dyes from waste water using photocatalytic process. **Journal of Environmental Science**, v. 65, 201–222, march, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2017.03.011>. Acesso em: 09 ago. 2021.

NOREEN, S., *et al.* Iron oxide (Fe_2O_3) prepared via green route and adsorption efficiency evaluation for an anionic dye : kinetics, isotherms and thermodynamics studies, **Journal of material research and technology**, v. 9 (3) may -june, p.4206-4217, 2020.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.047>. Acesso em: 15 set. 2021.

OLIVEIRA, E. S. *et al.* Evaluation of the applicability of thermogravimetry in the monitoring of the organofunctionalization process of expanded perlite. **Thermochimica Acta**, v.672, p.107–117, 2019.

PANIZZA, M; CERISOLA, G. Electrocatalytic materials for the electrochemical oxidation of synthetic dyes. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 75, p. 95–101, 2007.

RÊGO, F. *et al.* Application of electro-Fenton process as alternative for degradation of Novacron Blue dye, **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.2, p.875–880, 2014.

RIBEIRO, F. W. *et al.* Eletrodegradação de ponceau 2r utilizando ânodos dimensionalmente estáveis e Ti/Pt. **Química Nova**, v.36, p.85–90, 2013.

ROCHA, J. H. B. *et al.* Electrochemical Degradation of Remazol Red BR and Novacron Blue C-D Dyes Using Diamond Electrode. **Electrocatalysis**, v.3, p.1–12, 2012.

SILVA *et al.* Experimental design for optimization of the photocatalytic degradation process of the remazol red dye by the TiO_2 /expanded perlite composite. **Environmental Technology**, v.42, p.1493-1505, 2021.

SINGH, S., *et. al.* Comparative study of electrochemical oxidation for dye degradation: Parametric optimization and mechanism identification. **Journal of Environmental Chemical Engineering** v.4 No.3 p.2911-2921 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.05.036>. Acesso em: 17. sept. 2021.

TAVARES, M. G. *et al.* Electrochemical oxidation of Methyl Red using Ti/Ru_{0.3}Ti_{0.7}O₂ and Ti/Pt anodes. **Chemical Engineering Journal**, s.204–206, p.141–150, 2012.

VASCONCELOS *et al.* Oxidação eletroquímica dos corantes reativos preto 5 e azul 19 utilizando um eletrodo de diamante dopado com boro não comercial, **Química Nova**, v.39(9), p.1051–1058, 2016.

XIA *et al.* Electrochemical oxidation of Acid Orange 7 azo dye using a PbO₂ electrode: Parameter optimization, reaction mechanism and toxicity evaluation. **Chemosphere**, v.241, p. 125010, 2020. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125010>. Acesso em: 16 sept. 2021.

Corantes na Indústria de Alimentos

Food industry dyes

**Eduarda Ribeiro Mendonça, Luiz Nazareno Cavalcanti Junior e
Paula Larangeira Garcia Martins***

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)
Av. Clara Gianotti de Souza, 5180, bairro Agrochá, CEP: 11900-000, Registro – SP, Brasil

*paula.larangeira@alumni.usp.br

Submetido em 23/08/2021; Aceito em 22/10/2021

Resumo

Os corantes alimentícios são substâncias químicas naturais ou sintéticas, agregadas aos alimentos no intuito de preservar o sabor, melhorar a textura ou aparência e intensificar a coloração de alimentos e bebidas, possuindo grande importância econômica na indústria brasileira. Entretanto, nos últimos anos, aumentou a preocupação dos consumidores sobre seu uso, no que diz respeito à segurança alimentar e ao meio ambiente, pois os aditivos se destacam entre assuntos controversos quanto à saúde e a poluição em corpos d'água. O principal objetivo deste trabalho é descrever os corantes utilizados pela indústria de alimentos e apresentar alternativas de extração e produção de corantes naturais. Foi realizado uma revisão bibliográfica para verificar os corantes artificiais utilizados na indústria de alimentos em diferentes continentes e discutido a relevância dos corantes naturais. Desta forma, obteve-se dados promissores de pesquisas referentes a produção de corantes naturais extraídos de fontes de reaproveitamento aplicando solventes verdes (líquidos iônicos) como uma técnica eficaz.

Palavras-chave: Indústria de alimentos; Corante natural; Corantes sintéticos e artificiais; Alternativas sustentáveis.

Abstract

Food colorings are natural or synthetic chemical substances, added to foods in order to preserve the flavor, improve the texture or appearance and intensify the color of foods and beverages, having great economic importance in the Brazilian industry. However, in recent years, consumers' concern about their use has increased, with regard to food safety and the environment, as additives stand out among controversial issues regarding health and pollution in water bodies. The main objective of this work is to describe the dyes used by the food industry and present alternatives for extraction and production of natural dyes. A literature review was carried out to verify the artificial colors used in the food industry in different continents and discussed the relevance of natural colors. In this way, promising data were obtained from research regarding the production of natural dyes extracted from reuse sources using green solvents (ionic liquids) as an effective technique. Based on this study, it is considered that the use of natural products to obtain food coloring substitutes to synthetic and artificial ones is viable, since the results of toxicity and stability for natural colorings are satisfactory.

Keywords: Food industry; Natural dye; Synthetic and artificial dyes; Sustainable alternatives.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a preocupação com o meio ambiente aumentou, impactando todos os setores produtivos, com grande importância no setor alimentício (Alves et al., 2021). Os resíduos gerados pelas indústrias alimentícias, causam elevada concentração de matéria orgânica e forte coloração, sendo este um dos grandes fatores na poluição em corpos d'água. Os corantes alimentícios são principalmente usados para intensificar a coloração de alimentos e bebidas. Os principais corantes desta classe, são os orgânicos sintéticos artificiais, presentes em alimentos consumidos diariamente. Os corantes possuem grande importância econômica na indústria brasileira, em 2011 o Brasil importou 158,4 mil toneladas (correspondente a US\$ 515 milhões) e exportou, no mesmo período, 62 mil toneladas (equivalente a US\$ 145 milhões) de corantes e pigmentos (Fraga; Hartz; Scheeren, 2021).

É importante destacar que, frequentemente os termos corantes e pigmentos são empregados como sinônimos, pois todos os corantes e pigmentos na ausência de aditivos são colorantes. Corantes e pigmentos são substâncias químicas obtidas a partir de fontes naturais ou de maneira sintética, de origem orgânica ou inorgânica, aplicados com o propósito de colorir substratos diversos. Porém, pigmentos necessitam ser incorporados ao substrato por meio de um composto adicional como, por exemplo, o uso de um polímero em tintas ou em plásticos. Corantes, por sua vez, podem ser diretamente aplicados em vários substratos, como tecidos, couro, papel, cabelo, alimentos, entre outros. (Zanoni *et al.*, 2016).

Segundo a Resolução nº44 de 1977 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) corante é toda substância ou misturas de substâncias que tem como finalidade conferir ou intensificar a coloração em alimentos e bebidas, sendo excluídos sucos e extratos de vegetais usados na fabricação de alimentos e bebidas, que possuem coloração própria. A resolução também

classifica os corantes como: orgânico natural, obtido a partir de vegetal ou animal; orgânico sintético, obtido por síntese orgânica e idêntico ao natural; artificial, sintético e não encontrado em produtos naturais; inorgânicos, produzidos a partir de compostos minerais; e por fim, os caramelos subdivididos no grupo natural obtido a partir do aquecimento de açúcares e no grupo sintético idêntico ao natural produzido pelo processo amônia. Portanto, estes aditivos, são substâncias químicas naturais ou sintéticas, agregadas aos alimentos no intuito de preservar o sabor, melhorar a textura ou aparência ou para outras funções tecnológicas que estejam em conformidade com a legislação em questão (Copetti, 2019).

Na indústria alimentícia todo o processo de caracterização, implementação e ressignificação das cores em alimentos e bebidas são um mecanismo de formulação para a satisfação do mercado consumidor, uma vez que as cores proporcionam aparências apetitosas, dando naturalidade aos produtos processados. Todos os anos são produzidos, mundialmente, cerca de 700.000 toneladas de 10.000 variedades distintas de corantes e pigmentos para utilização em processos industriais de diversos ramos (Gupta e Suhas, 2009; Freitas, 2012; Faria, 2017).

No Brasil a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável por regularizar a utilização dos corantes em alimentos, no entanto, baseia-se em normas e regulamentos internacionais designados pela *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA), pelo *Codex Alimentarius*, da União Europeia e da Lista Harmonizada de Aditivos do Mercosul (Hamerski *et al.*, 2013). Prado e Godoy (2007) explicam que a Legislação Brasileira aceita apenas corantes que especificam a Ingestão Diária Aceitável (IDA), estabelecidos por resultados toxicológicos determinados pela JECFA (como mutagenicidade e citotoxicidade). Este mesmo órgão propõe que cada país verifique, em suas especificidades, se o consumo total de cada aditivo não excede o valor estipulado de

IDA, correspondendo a quantidades de ingestão diária, ao longo da vida, sem oferecer risco a curto ou longo prazo, à saúde (Batista, 2020).

Os corantes artificiais são muito utilizados na indústria de alimentos devido à sua alta estabilidade frente à temperatura, oxigênio e luz. Entretanto, alguns estudos relacionam seu uso ao desenvolvimento de alergias e doenças, como o transtorno de déficit de atenção e hiperatividade. Uma alternativa ao uso destes corantes é o uso de corantes naturais, porém sua estabilidade é o que atualmente impede seu uso extensivo em produtos alimentícios. Deste modo, houve um aumento na busca por produtos mais naturais e causem menos impacto ao meio ambiente pelos consumidores. Nesse contexto, corantes naturais, como antocianinas (ACNs), carotenoides e clorofilas podem ser utilizados em substituição aos sintéticos (Leandro *et al.*, 2021).

Em se tratando de escala global, estima-se que o consumo de corantes esteja distribuído em torno de 40% de corantes sintéticos, 31% de corantes naturais, 24% de corantes sintéticos idêntico aos naturais e 5% de corantes caramelo (Mapari e Thrane, 2010; Santos-Ebinuma, 2013; Leandro *et al.*, 2021). Foi possível notar uma crescente na utilização de corantes naturais para aplicação em alimentos, frente aos artificiais que foram investigados quanto aos impactos na saúde do consumidor.

Estudos realizados no Brasil e no Canadá no período de 2003 e 2011 demonstram que as principais reações decorrentes do uso de corantes artificiais implicam em urticárias, reações imunológicas e asma, câncer, transtornos do comportamento, hipertireoidismo, anemia, glomerulonefrite e até mesmo insônia em crianças, evidenciando a população com maior índice de vulnerabilidade, sendo as gestantes, idosos, indivíduos com algum transtorno mental (autismo, TDAH, transtornos de aprendizagem) e crianças até 3 anos (Godoy e Prado, 2003; Silvia, 2008; Buka *et al.*, 2011). As reações causadas pelos corantes são decorrentes da ação nociva da interação dos mesmos com o organismo vivo, proporcionando então a

toxicidade (Sá *et al.*, 2016).

Devido a esta problemática, a busca por corantes alternativos aos artificiais vem aumentando. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é descrever os corantes utilizados pela indústria de alimentos e apresentar alternativas de extração e produção de corantes naturais que não demandem etapas sintéticas ou de extração com compostos orgânicos voláteis (como acetona, hexano, entre outros) em seus processos. São discutidos os benefícios e a viabilidade de aplicação, as novidades estudadas para desenvolvimento promissor de substituintes dos corantes alimentares artificiais, em especial de coloração amarelo-vermelho, na indústria brasileira.

METODOLOGIA

Este trabalho corresponde a uma pesquisa de revisão bibliográfica. O levantamento de dados foram realizados em artigos de periódicos nacionais e internacionais (em língua portuguesa, espanhola e inglesa), dissertações e teses, os quais denominamos publicações. A legislação vigente a realização da pesquisa (2019-2021) também foi consultada. A busca dos dados foram realizadas diretamente em bases de dados eletrônicas como: o Scientific Electronic Library Online (SCIELO; <http://www.scielo.org/php/index.php>), a US National Library of Medicine (PUBMED; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) e os Periódicos da CAPES/MEC (<http://www.periodicos.capes.gov.br/>), incluindo a base de dados Web of Science. Também foram consultados os acervos virtuais disponíveis das bibliotecas de universidades estaduais e federais. Todas as publicações avaliadas foram datadas entre o período dos anos 2000 a 2021, incluindo estudos experimentais e de revisão. O descritor para a busca as bases de dados foi o termo “corante alimentício”, associando-se a este as seguintes palavras-chave: “corante artificiais”; “corantes naturais”; “indústria de alimentos”;

“pigmentos naturais”; “corante de alimentos artificial” e sendo considerados as traduções correspondentes em língua inglesa. Para a seleção, foi feita a leitura do título e do resumo das publicações, a fim de identificar aqueles que corresponderam a informação requisitada. Os artigos incluídos foram lidos integralmente e analisados em concordância com os objetivos desta pesquisa.

RESULTADOS

Corantes artificiais utilizados no Brasil e no mundo

Como mencionado anteriormente, a ANVISA é o órgão que regulamenta a utilização dos corantes no Brasil. Seguindo embasamentos internacionais como princípio, foi construída a Lista Harmonizada de Aditivos Alimentares do Mercosul. A lista se originou pela necessidade de um regulamento técnico comum entre os países que compõe o Mercosul sobre os aditivos alimentares e suas respectivas funções, com a finalidade de proporcionar maior controle sanitário, a fim de maximizar a proteção à saúde da população, além de facilitar a comercialização de alimentos entre os países integrantes do Mercosul (Anvisa, 2005).

O Brasil, em consonância com a Resolução GMC nº53/98 (decorrente a lista harmonizada de aditivos alimentares), emitiu a Resolução nº 387, de 05 de agosto de 1999, e posteriormente a Resolução RDC nº 25 de 15 de fevereiro de 2005, na qual aprova o uso de aditivos alimentares. Por meio dessas resoluções os corantes artificiais são regulamentados para aplicação na indústria alimentícia.

O código INS (*International Numbering System*) corresponde a identificação dos aditivos alimentares e foi elaborado pelo comitê do *Codex Alimentarius* com a finalidade de estabelecer um sistema numérico internacional que possibilite a identificação dos aditivos alimentares em um produto como alternativa à declaração de seu nome. Sendo assim, o código INS, não garante uma aprovação toxicológica para cada aditivo, apenas atribui uma numeração para identificação. O *Codex Committee Food Additives*

(*Codex Alimentarius*) e o *Food and Drug Administration* (FDA) são os principais responsáveis na regulamentação toxicológica dos corantes alimentares, o *Codex*, correspondente a cada corante, o valor de ingestão diária aceitável (IDA) (Pazzoti, 2013).

O FDA é o órgão governamental dos Estados Unidos da América que controla os alimentos (tanto humano como animal), suplementos alimentares, medicamentos (humano e animal), cosméticos, equipamentos médicos, materiais biológicos e produtos derivados do sangue humano (Representação Brasileira no Parlamento do Mercosul, 2003). Na indústria alimentícia brasileira a legislação não estabelece uma obrigatoriedade na descrição da quantidade de aditivo no produto, apenas descrimina a necessidade de apontar quais os tipos a serem usados (Pinheiro; Abrantes, 2005).

O *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA) é um comitê internacional de especialistas científicos, administrado conjuntamente pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e pela OMS. O JECFA vem se reunindo desde 1956, para avaliar a segurança de aditivos alimentares, contaminantes, substâncias tóxicas que ocorrem naturalmente, servindo como um comitê de especialistas científicos independentes que realiza avaliações de risco e presta assessoria à FAO, à OMS e aos países membros de ambas as organizações, bem como à Comissão do *Codex Alimentarius* (CAC) (Who, 2018; Fao, 2018).

Considera-se que a JECFA atua em âmbito mundial, sendo um mecanismo de recurso para embasamento das regulamentações e legislações, acerca de produtos alimentícios, de cara país. Em consonância ao JECFA, OMS e o *Codex*, o FDA, em uso de suas atribuições, permite nos Estados Unidos, a utilização de apenas oito tipos de corantes sintéticos artificiais. Nos EUA foram estabelecidas as diretrizes 94/36/EC e 95/45/EC, relativas aos corantes para utilização nos gêneros alimentícios e seus critérios específicos de pureza (Reyes; Prado, 2001).

A Tabela 1, faz um comparativo dos corantes sintéticos artificiais aprovados para aplicação na indústria alimentícia no Mercosul, na qual o Brasil integra, União Europeia e nos Estados Unidos da América. Possuindo também, a relação da cor, código INS e IDA dos corantes sintéticos artificiais autorizados por cada localidade.

De acordo com a Tabela, podemos observar os corantes que são aprovados em todos os países: Amarelo-sol FCF / Amarelo crepúsculo; Tartrazina; Eritrosina; Vermelho 40 / Vermelho allura; Indigotina; Azul brilhante FCF. Como aqueles que possuem apenas no Brasil e na União Europeia: Amarelo de Quinoleína; Azorrubina; Ponceau 4R; Negro brilhante BN; Azul Patente V. Existe também, o corante Verde sólido / Verde rápido que foi aprovado somente no Brasil e nos Estados Unidos da América. E o corante Amaranto / Bordeaux S e Marrom HT, que possui aprovação apenas no Brasil. O corante Vermelho citrus 2/ Amaranto, contém aprovação na União Europeia e nos Estados Unidos da América. Por fim, os corantes que possuem aprovação apenas na União Europeia,

são: Vermelho 2G; Castanho FK; Castanho HT; Verde S.

É importante salientar que, em meados do século XX já estavam disponíveis mais de oitenta mil corantes sintéticos para utilização na indústria de alimentos sem qualquer tipo de regulamentação em relação ao seu uso e grau de pureza. Os Estados Unidos chegaram a ter no início do século XX em torno de 700 substâncias para aplicação como corantes, sendo reduzida atualmente para 8 substâncias, como apresentado na tabela 1, em aplicação no mercado de alimentos e cosméticos (Prado e Godoy, 2007; Queija *et al.*, 2001).

Na União Europeia também se fez necessária a padronização e harmonizações nas legislações e regulamentações dos países membros, sendo elaboradas diretrizes para controlar o uso dos aditivos alimentares, em que as legislações internas de cada país-membro são baseadas em diferentes diretivas, sendo incorporadas na legislação nacional apropriada (Downham; Collins, 2000).

Tabela 1

Comparativo de corantes. Relação da cor, código INS (*International Numbering System*) e IDA (ingestão diária aceitável) dos corantes sintéticos artificiais autorizados para uso no Brasil, União Europeia e Estados Unidos da América.

Brasil				União Europeia				Estados Unidos da América			
CORANTE	COR (Color index)	CóDIGO INS	IDA (mg/kg PC)	CORANTE	COR (Color index)	CóDIGO INS	IDA mg/kg PC)	CORANTE	COR (Color index)	CóDIGO INS	IDA (mg/kg PC)
Amarelo crepúsculo	Amarelo	110	4	Amarelo-sol FCF/ Amarelo crepúsculo	Amarelo	E 110	4	Amarelo crepúsculo	Amarelo	110	4
Tartrazina	Amarelo	102	7,5	Tartrazina	Amarelo	E 102	7,5	Tartrazina	Amarelo	102	7,5
Amarelo de quinoleína	Amarelo	104	5	Amarelo de quinoleína	Amarelo	E 104	5	Vermelho citrus 2/ Amaranto	Vermelho	123	0,5
Amaranto/Bordeaux S	Vermelho	123	0,5	Azorrubina	Vermelho	E 122	4	Eritrosina	Vermelho	127	0,1
Azorrubina	Vermelho	122	4	Amarante	Vermelho	E 123	0,5	Vermelho 40/ Vermelho allura	Vermelho	129	7
Eritrosina	Vermelho	127	0,1	Ponceau 4R	Vermelho	E 124	4	Verde Rápido	Verde	143	25
Vermelho 40/ Vermelho allura	Vermelho	129	7	Eritrosina	Vermelho	E 127	0,1	Indigotina	Azul	132	5
Ponceau 4R	Vermelho	124	4	Vermelho 2G	Vermelho	E 128	7	Azul brilhante FCF	Azul	133	12,5
Marrom HT	Marrom	155	1,5	Vermelho 40/ Vermelho allura	Vermelho	E 129	7	Azul patente V	Azul	131	15
Negro brilhante BN	Preto	151	1	Castanho FK	Laranja	E 154	1,5	Fonte: e-CFR <i>Electronic Code of Federal Regulations</i> (2018), <i>Color Index</i> (2018).			
Verde sólido/Verde rápido	Verde	143	25	Castanho HT	Marrom	E155	1,5				
Indigotina	Azul	132	5	Negro brilhante BN	Negro	E 151	1				
Azul brilhante FCF	Azul	133	12,5	Verde S	Verde	E 142	25				
Azul patente V	Azul	131	15	Azul patente V	Azul	E131	17				
Fonte: Brasil (1988), Brasil (1998), Brasil (1999), Brasil (2005), <i>Color Index</i> (2018), Pinheiro e Abrantes (2005).				Indigotina	Azul	E 132	5				
				Azul brilhante FCF	Azul	E 133	12,5				
				Fonte: Directiva 95/45/CE; Directiva 94/36/CE. <i>Color Index</i> (2018).							

A ANVISA preconiza o uso de aditivos quando a aplicação de operações tecnológicas sozinhas não dêem conta de garantir maior vida útil e características sensoriais desejadas ao alimento. Somente assim, se justifica a adição de aditivos alimentares, os quais devem ser utilizados em concentrações baixas e controladas, garantindo que a ingestão diária não supere os valores de referência (Copetti, 2019). Portanto, são inúmeras as legislações que tratam da regulamentação e do uso dos aditivos alimentares, devido a toxidades dos corantes e demais aditivos alimentares, as quais podem apresentar malefícios à saúde da população. Pois, a presença do mesmo corante pode ocorrer em vários alimentos, implicando assim, em uma ingestão diária acima da IDA especificada. Desta forma, a Tabela 2 a seguir apresenta os corantes que tem seu uso banido ou restrito em alguns países.

Tabela 2

Relação dos corantes banidos e/ou restritos em diversos países.

CORANTE	LOCAL	JUSTIFICATIVA
Vermelho 40	Não é permitido na Alemanha, Áustria, França, Bélgica, Dinamarca, Suécia e Suíça.	Ao ser associado ao benzoato de sódio (conservantes) causa hiperatividade em crianças.
Ponceau 4R	Não é permitido nos Estados Unidos e na Finlândia. Uso restrito na Inglaterra.	Ao ser associado ao benzoato causa anemia e impulsividade.
Eritrosina	Não é permitido na Noruega.	Suspeita de causa câncer de tireoide (em experimentos realizados com ratos).
Amaranto/Bordeaux	Proibido nos Estados Unidos. Voluntariamente banido pelas indústrias alimentícias do Japão.	Estrutura química semelhantes ao de outros corantes considerados cancerígenos.
Amarelo crepúsculo	Restrito no Canadá (uso específico com concentração de 300 ppm). Banido na Finlândia e Noruega.	Reações anafilatóides, angioedema, choque anafilático, vasculite e púrpura. Reação cruzada com paracetamol, ácido acetilsalicílico, benzoato de sódio (conservante) e outros corantes azoicos como a tartrazina. Pode provocar hiperatividade em crianças quando associado ao benzoato de sódio.
Azul Patente V	Proibido nos Estados Unidos, Noruega e Austrália.	Pode causar sensibilidade da pele, urticária, prurido, náuseas, diminuição da pressão arterial, tremores e problemas respiratórios.
Azurrubina	Proibido no Japão, Noruega, Suécia e Estados Unidos.	Responsável por causar eczema, reações alérgicas e urticária.

FONTE: Dossiê Corantes (2016), Godoy e Prado (2003), Idec (2011), Anvisa (2005).

Conforme apresentado na Tabela 2, é possível considerar que, felizmente, ao longo dos últimos anos a utilização dos corantes sintéticos artificiais está

diminuindo, uma vez que alguns países já restringem sua utilização, e outros ainda se encontram em processo de conscientização acerca dos malefícios do mesmo, proporcionando a redução do consumo de alimentos coloridos artificialmente e potencializando o consumo e produção de corantes naturais.

É importante ressaltar que, da lista harmonizada de aditivos alimentares do Mercosul, estes mesmos corantes estão sujeitos a não utilização nos países membros, pois pode possuir sua aplicação aprovada ou não decorrente da legislação de cada país. Como visto anteriormente na tabela 1, os corantes sintéticos artificiais Vermelho 40, Eritrosina e Amarelo crepúsculo são aprovados para aplicação na indústria alimentícia no Mercosul, União Europeia e nos Estados Unidos da América. Porém, os mesmos corantes, como representado na Tabela 2, são banidos e/ou restritos em países como a Alemanha, Áustria, França, Bélgica, Dinamarca, Suécia, Suíça, Noruega e restrito no Canadá (uso específico com concentração de 300 ppm ou mg/kg).

Os corantes Ponceau 4R, Azul patente V, Azurrubina são aprovados para uso no Brasil e União Europeia (Tabela 1). Por outro lado, na tabela 2, esses mesmos corantes são proibidos nos Estados Unidos, Finlândia, Noruega, Austrália, Japão, Suécia e com uso restrito na Inglaterra. É importante destacar também, que o corante Amaranto/Bordeaux é aprovado para uso no Brasil (Tabela 1), mas é proibido nos Estados Unidos, e voluntariamente banido pelas indústrias alimentícias do Japão (Tabela 2). Estes comparativos demonstram a variabilidade de aprovação para utilização de corantes artificiais, justificando a controvérsia acerca do emprego destes aditivos em alimentos e valorizando a substituição por corantes naturais.

Corantes naturais utilizados na indústria alimentícia brasileira

Os corantes orgânicos naturais são obtidos por meio vegetal, animal e de micro-organismos, tendo como exemplo folhas, flores, frutos, insetos, fungos e

bactérias. Uma vez identificada a matéria prima e a viabilidade do processo de extração do pigmento, o corante passa a ser comercializado para utilização não apenas na indústria alimentícia, mas também em cosméticos e farmacêutica. Atualmente os principais corantes naturais aplicados nas indústrias são de extratos urucum, carmin de cochinha, curcumina, betalaínas, antocianinas e carotenoides (Mendonça, 2011).

A categoria de corantes orgânicos é dividida em três grupos que abrangem a extração por meio animal e/ou vegetal, sendo (1) os compostos com estrutura tetrapirrólica, caracterizando as clorofilas, a heme e as bilinas; (2) os compostos de estrutura isoprenóide, englobando os carotenoides e seus subtipos; (3) e os compostos heterocíclicos, as quais apresentam oxigênio em sua estrutura, configurando os flavonoides. Há ainda outros dois grupos que se utilizam apenas de meio vegetal, (1) os compostos com estruturas nitrogenadas, evidenciando as betalaínas; (2) e os compostos com estruturas variadas, como os taninos (Dossiê Corantes, 2016). A Tabela 3 aborda os corantes naturais de uso permitido em alimentos e bebidas no Brasil, de acordo com anexo III da resolução CNS/MS N.º 04, de 24 de novembro de 1988.

Tabela 3

Relação dos corantes orgânicos naturais aprovados para uso na indústria alimentícia no Brasil.

CORANTE	EXEMPLO
Orgânico Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Açafraão • Ácido carmínico • Antocianinas • Cacau • Carmin • Carotenoides: Alfa Caroteno; Beta caroteno; Bixina; Capsantina; Capsorubina; Gama caroteno; icopeno; Norbixina. • Carvão • Clorofila: Clorofila Cúprica; Sal de amônio de clorofilina cúprica; Sal de potássio de clorofilina cúprica; Sal de sódio de clorofilina cúprica. • Choconilha • Cúrcuma, • Curcumina • Hemoglobina • Índigo • Páprica • Riboflavina • Urzela: Orceína; Orceína sulfonada. • Vermelho de beterra • Xantofilas: Cantaxantina; Criptoxantina; Flavoxantina; Luteína; Rodoxantina; Rubixantina; Violaxantina. • Urucum

FONTE: Brasil (1988).

Dentre os corantes naturais permitidos, pode-se destacar os carotenoides que além de proporcionar a cor também possuem diversos efeitos benéficos ao organismo humano. Além de ser um corante natural, os carotenoides apresentam alto valor nutricional. Vários carotenoides, tais como a β -criptoxantina, são precursores de vitamina A, isto é, podem ser convertidos in vivo em retinol. Além disso, evidências epidemiológicas têm demonstrado que o consumo de uma dieta rica em carotenoides está diretamente relacionado com a menor incidência de alguns tipos de câncer, tais como de cabeça e pescoço, de estômago e colorretal, doenças cardiovasculares, degenerações musculares e formação de catarata (Goulart, 2020).

Desta forma, nossa pesquisa também busca alternativas para os corantes amarelo-vermelho por carotenoides. O dificultador para o emprego de carotenoides como pigmento natural neste tipo de indústria de alimentos se dá pelo solvente extrator. Inúmeras pesquisas estudam o desenvolvimento de extratos de carotenoides utilizando solventes e métodos alternativos (Ho et al., 2015; Khoo et al., 2011). Bi *et al.*, (2010) determinaram um método de obtenção de astaxantina de resíduos de camarões baseado em líquido iônico (LI) como solvente. Em estudos anteriores, registrou-se resultados inovadores e muito promissores na obtenção de carotenoides do descarte de tomates utilizando líquidos iônicos derivados de sais de imidazólio. A patente depositada no INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) descreve todos os detalhes do desenvolvimento de nosso método (De Rosso e Martins, 2015). Este trabalho verificou a empregabilidade de líquidos iônicos na indústria de alimentos (Martins *et al.*, 2017), concluindo que a extração dos compostos bioativos com líquidos iônicos permite altos rendimentos na produção de corantes naturais.

Adicionalmente, investigou-se a estabilidade, atividade antioxidante e toxicidade do extrato de carotenoides obtidos aplicando líquido iônico como extrator em comparação ao extrato tradicional obtido por acetona. Verificamos que a estabilidade

térmica do extrato de carotenoides obtido por LI resultou em Energia de Ativação (Ea) em meio aquoso de valores similares ao convencional em acetona. A atividade antioxidante do extrato de carotenoides de tomates em líquido iônico foi de 7,4 α -tocoferol equivalente e em acetona de 12,4 (Martins e De Rosso, 2016). O extrato de carotenoides obtido por LI administrado na dose de 10 mg/kg/dia levou a formação de um número menor de micronúcleos ($4,2 \pm 2,2$ em 2000 células de medula óssea dos animais expostos) comparado ao grupo controle ($5,7 \pm 3,3$) (Larangeira et al., 2016). O extrato obtido pelo método desenvolvido manteve a estabilidade em meio aquoso e oleoso e obteve rendimento maior que o método convencional. Desta forma, o emprego de LI na extração dos carotenoides de tomate apresenta viabilidade técnica.

Por conta de todos os bons resultados que obtivemos até o momento é que se faz justificável a continuidade da verificação de real empregabilidade deste extrato como corante natural para a indústria de alimentos. Murador et al. (2019), estudou a extração de carotenoides da casca da laranja utilizando LI e ainda verificou a efetiva bioviabilidade dos compostos naturais obtidos, atentando a eficiência nesta linha de extração.

Solventes otimizados para a extração de corantes naturais

Nos últimos anos, tem-se assistido ao crescimento da investigação sobre a utilização de solventes alternativos mais sustentáveis e eficientes em diversas áreas, incluindo a tecnologia biomédica, capaz de substituir solventes orgânicos convencionais que apresentam várias desvantagens tais como toxicidade, inflamabilidade, volatilidade, entre outras. Nesse contexto, foram propostos na literatura os solventes eutéticos (DES – do inglês: *deep euthetic solvents*), que poderão constituir uma alternativa mais benigna aos líquidos iônicos (LI) (Furtado, 2016). As características físico-químicas da mistura eutética torna o processo de isolamento dos compostos

orgânicos mais fácil, pois os compostos orgânicos são pouco solúveis e em processos industriais a aplicação desses solventes, causariam uma economia na geração de resíduos. Fazendo uma análise comparativa entre os solventes eutéticos e os compostos orgânicos voláteis, o solvente escolhido para testes iniciais foi o cloreto de colina + ureia, devido o cloreto de colina além de apresentar baixo custo, ser biodegradável e não apresentar propriedades tóxicas que requeira manuseio especial, atua muitas vezes como o receptor de ligações de hidrogênio em diversos DES e possui viscosidade e densidade favorável ao processo de solvatação necessário a extração de compostos fenólicos. E a ureia além de aceitar a formação de pontes de hidrogênio, ela interatua na fase líquida com o cloreto de colina, conduzindo a uma significativa estabilização da solução, levando a uma grande diminuição da temperatura de fusão da mistura em relação às dos componentes sólidos.

A partir da mistura realizada entre o cloreto de colina e a ureia, utilizando o agitador magnético e a adição de 25 ml da filtração realizada em processos anteriores, foi obtido um líquido de cor amarelada e densidade $1,1 \text{ g.cm}^{-3}$. Este solvente também demonstrou boa extração de carotenoides do tomate.

Outra alternativa avaliada em nossos estudos foi a utilização como solvente extrator de ureia e glicerina (Murador et al., 2019), misturadas em agitador magnético (sob 40°C) em proporções molares distintas (Araque et al., 2015). O teste de melhor desempenho foi a mistura de proporção em mol (2:2,5). O resultado correspondeu a obtenção de carotenoides em quantidades iguais ou superior aos obtidos com solvente tradicional (acetona). Desenvolvemos um novo método de extração com solvente natural, sendo definido como: 5g de amostra de cenoura agitados por 5 min em mixer com 10g de solvente ureia/glicerina; com 4 repetições.

Desta forma, evidencia-se que a utilização de LI para a extração de corantes naturais é uma alternativa viável, seguindo os princípios da química verde, tendo como principais aspectos a sustentabilidade, a

a produção mais limpa e fatores econômicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na investigação teórica realizada nessa pesquisa, tornou-se possível averiguar que os corantes sintéticos e artificiais ainda estão no ranking dos mais utilizados, tornando-se alvo de pesquisas acerca de sua toxicidade, usando as mesmas como principal ponto argumentativo para substituição desses corantes.

No entanto, outro ponto que vem sendo discutido é em relação ao processo de extração dos corantes naturais, uma vez que estes são submetidos a solventes orgânicos, como amônia, éster, hexano, acetona, entre outros, que podem contaminar o produto, além de estabilizadores para manter uma coloração intensa e preservar certas propriedades.

Desta forma, meios alternativos de produção de corantes naturais vêm sendo estudados e implantados com sucesso, como a utilização de líquidos iônicos, como possível substituto dos solventes orgânicos, apresentando resultados semelhantes e/ou melhores quando comparado aos utilizados em maior escala pela indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

Alves, Camyla Vidal et al. (2021). Sustentabilidade da produção de alimentos através da valorização do potencial de resíduos vegetais—uma revisão. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 4, ed. 1, p. 592-604.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2005). *Consulta Pública nº 86, de 7 de dezembro de 2005. D.O.U de 08/12/2005*. Brasil. Disponível em <www.anvisa.gov.br> Acesso em: 30 ago. 2018.

Araque, J. C.; Hettige, J. J. e Margulis, C. J. (2015). Ionic liquids—Conventional solvent mixtures, structurally different but dynamically similar. *The Journal of Chemical Physics*, v. 143, n. 13, p. 134505. Disponível em: <

<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jcp/143/13/10.1063/1.4932331>>. Acesso em 10 jan. 2019.

BATISTA, Jordana Vitória Ribeiro. (2020). *Microbiologia dos alimentos e o papel dos conservantes: revisão bibliográfica*. Tese (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Cesumar. Maringá (PR).

Bi, W. Tian, M.; Zhou, J. e Row, K. H. (2010). Task-specific ionic liquid-assisted extraction and separation of astaxanthin from shrimp waste. *Journal of Chromatography B-Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, v. 878, n. 24, p. 2243-2248. ISSN 1570-0232. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000281290400009 >. Acesso em: 05 dez. 2018.

Brasil (1988). Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução CNS/MS n. 04, de 24 de novembro de 1988. Aprova a revisão das tabelas I, III, IV e V referente a aditivos intencionais, bem como os anexos I, II, III, IV e VIII todas do Decreto 55871, de 26.03.1965, revoga as Resoluções: 2/67, 36/68, 9/71, 3/67, 3/69, 12/71, 5/67, 6/69, 14/71, 6/67, 7/69, 16/71, 7/67, 8/69, 24/71, 8/67, 9/69, 32/71, 2/68, 1/70, 34/71, 3/68, 2/70, 38/71, 4/68, 3/70, 39/71, 5/68, 5/70, 43/71, 8/68, 6/70, 45/71, 13/68, 10/70, 47/71, 14/68, 11/70, 9/72, 16/68, 12/70, 17/72, 20/68, 14/70, 19/72, 25/68, 19/70, 23/72, 26/68, 21/70, 34/72, 31/68, 23/70, 2/73, 33/68, 28/70, 7/73, 35/68, 1/71, 20/73, 2/71, 31/73, 7/76, 6/78 e anexo I da Resolução 22/76; revoga a Portaria Ministerial 44/70 e as Portarias DINAL: 13/80, 2/81, 12/82 e 60/84; revoga os seguintes comunicados DINAL: 1/80, 10/80, 12/80, 16/80, 40/80, 2/81, 4/81, 5/81, 6/81, 9/81, 10/81, 12/81, 13/81, 15/81 E 1/84. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 19 dez. Disponível em: < http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/Resolucao_04_1988.pdf/7311a4d9-d5db-44d6-adbd-c7e6891d079d> Acesso em: 14 fev. 2019.

Brasil. (1997). Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução n. 44, 1977. *Considera corante a*

substância ou a mistura de substâncias que possuem a propriedade de conferir ou intensificar a coloração de alimento (e bebida). ANVISA, Seção Legislação Resolução. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>> Acesso em: 06 mai. 2018.

Brasil. (1998). Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução GMC nº 53, 1998. *Regulamento técnico de atribuição de aditivos e seus limites máximos para a categoria de alimentos 5: balas, confeitos, bombons, chocolates e similares*. INMETRO, 98. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/PDF/GMC_RES_1998-053.pdf> Acesso em: 30 out. 2018.

Brasil. (1999). Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução n. 387, 1999. *Regulamento técnico que aprova o uso de Aditivos Alimentares, estabelecendo suas Funções e seus Limites Máximos para a Categoria de Alimentos 5: Balas, Confeitos, Bombons, Chocolates e Similares*. ANVISA, Seção Legislação Resolução. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>> Acesso em 30 de outubro de 2018.

Brasil. (2005). Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução n. 25, 2005. *Aprova o regulamento técnico que aprova o uso dos aditivos alimentares, estabelecendo suas funções e limites máximos para a categoria de alimentos: produtos protéicos - subcategoria: bebidas não alcoólicas a base de soja*. ANVISA, Seção Legislação Resolução. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>> Acesso 30 out. 2018.

Color Index. (2018). *Society of dyers and colourists*. Disponível em <<https://colour-index.com/>> Acesso em: 31 out. 2018.

Copetti, Narriman Furlan. (2019). Aditivos Alimentares e suas Consequências para a Saúde Humana. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário FACVEST – UNIFACVEST. Lages, SC.

De Rosso, V. V. e Martins, P. L. G. (2015). *Processo de obtenção de carotenoides de tomates provenientes de descarte e uso dos carotenoides obtidos*. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. UNIFESP. Brasil. BR 10 2015 016471-8: 23 p.

Directiva 95/45/ce de la comisión. (1995). *Por la que se establecen criterios específicos de pureza en relación con los colorantes utilizados en los productos alimenticios*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, nº L

226/1,1995. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/>> Acesso em: 31 out. 2018.

Directiva 94/36/ce del parlamento europeo y del consejo (1994). *Relativa a los colorantes utilizados en los productos alimenticios*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, nº L 237/13, 1994. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/>> Acesso em: 31 out. 2018.

Dossiê Corantes (2016). *Food Ingredients Brasil* nº 39: 24-46. Disponível em <<http://revista-fi.com.br/>> Acesso em: 02 nov. 2018.

Downham, A. e Collins, P. (2000). Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology*, 35, 5-22.

e-CFR. (2018). *Electronic Code of Federal Regulation. Title 21 of the Code of Federal Regulations, parts 74*. Disponível em <<https://www.ecfr.gov>> Acesso em: 31 out. 2018.

Fao. (2018). *Chemical risk and JECFA*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em <www.fao.org> Acesso em: 03 nov. 2018.

Faria, C. et al. (2017). Estudo Físico-químico da fotodegradação de Corantes Alimentícios.

Fraga, Karina Rodrigues; HARTZ, Taís Port; SCHEEREN, Carla Weber. (2021). Processos oxidativos avançados eficientes na degradação de corantes alimentícios. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p. 50161-50171.

Furtado, J. B. (2016). *Eutéticos de origem natural: Estudo de propriedades físicas de solventes eutéticos de origem natural*. p. 52. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/13204/1/tese_1_vfinal_V11.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2018.

Godoy H.T e Prado M. A. (2003). Corantes artificiais em alimentos. *Alim. Nutr*; v.14, n.2: 237-250p.

Goulart, Gisele et al. (2020). Extrato obtido a partir de subproduto do pedúnculo do caju (*Anacardium occidentale* L.): triagens toxicológica e farmacológica. Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas. Piracicaba, SP.

Hamerski, L.; Rezende, M. J. C. e Silva, B. V. (2013). Usando as Cores da Natureza para Atender aos Desejos do Consumidor: Substâncias Naturais como Corantes na Indústria Alimentícia. *Rev. Virtual Quim.* Vol 5, No. 3, 394-420.

Ho, K. Ferruzzi, M. G.; Liceaga, A. M. e Martin-Gonzalez,

- M. F. S. (2015). Microwave-assisted extraction of lycopene in tomato peels: Effect of extraction conditions on all-trans and cis-isomer yields. *Lwt-Food Science and Technology*, v. 62, n. 1, p. 160-168, Jun. ISSN 0023-6438. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000351645800024 >. Acesso em: 10 jan 2019.
- Idec. *Cuidados com os corantes dos alimentos*. Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. 2011. Disponível em <https://idec.org.br> Acesso em: 02 nov. 2018.
- Khoo, H.-E. Prasad, K. N.; Kong, K.-W.; Jiang, Y. et al. (2011). Carotenoids and Their Isomers: Color Pigments in Fruits and Vegetables. *Molecules*, v. 16, n. 2, p. 1710-1738, Feb. ISSN 1420-3049. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000287745400047 >. Acesso em: 10 jan 2019.
- Larangeira, P. M. De Rosso, V. V.; Da Silva, V. H. P.; De Moura, C. F. G. et al. (2016). Genotoxicity, mutagenicity and cytotoxicity of carotenoids extracted from ionic liquid in multiples organs of Wistar rats. *Experimental and Toxicologic Pathology*, ISSN 0940-2993. Disponível em< http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0940299316301269 >. Acesso em: 12 jan 2019.
- Leandro, Gabriel Coelho et al. (2021). Adsorção e dessorção de antocianinas de jambolão (*Syzygium cumini*) em discos de laponita: modelos cinéticos, caracterização físico-química e propriedades funcionais do biohíbrido.
- Martins, P. L. G. e De rosso, V. V. (2016). Thermal and light stabilities and antioxidant activity of carotenoids from tomatoes extracted using an ultrasound-assisted completely solvent-free method. *Food Research International*, v. 82, p. 156-164. ISSN 0963-9969. Disponível em < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996916300138 >. Acesso em: 13 mar. 2019.
- Martins, P. L. G.; Braga, A. R. e De rosso, V. V. (2017). Can ionic liquid solvents be applied in the food industry? *Trends in Food Science e Technology*, v. 66, p. 117-124.
- Mendonça, J. N. (2011). *Identificação e isolamento de corantes naturais produzidos por actinobactérias*. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- Murador, D. C.; Braga, A. R. C.; Martins, P. L. G.; Mercadante, A. Z. et al. (2019). Ionic liquid associated with ultrasonic-assisted extraction: A new approach to obtain carotenoids from orange peel. *Food Research International*, 126, p. 108653.
- Murador, D. C.; De Souza Mesquita, L. M.; Vannuchi, N.; Braga, A. R. C. et al. (2019). Bioavailability and biological effects of bioactive compounds extracted with natural deep eutectic solvents and ionic liquids: advantages over conventional organic solvents. *Current Opinion in Food Science*, v.26, p. 25-34.
- Pazzoti, G. S. O. (2013). Utilização de corantes na indústria que processa balas, pirulitos e chicletes. *Revista Científica UNILAGO*, v.1, n.1. Disponível em <http://www.unilago.edu.br/revista/edicaoanterior/Sumario/2013/> Acesso em: 04 out. 2018.
- Pinheiro, M.C.O. e Abrantes S.M.P. (2005). Determinação dos corantes artificiais presentes em balas consumidas por crianças com idade entre 3 e 9 anos. *Revista Analytica*, out/nov.
- Prado M. A e Godoy H. T. (2007). Teores de corantes artificiais em alimentos determinados por cromatografia líquida de alta eficiência. *Quim Nova*, 30: 268-73.
- Queija, C.; Queirós, M. A e Rodrigues, L. M. (2001). A cor dos Alimentos. *Química - Bol. Soc. Portuguesa Quím.* v. 80, p. 6-11.
- Representação Brasileira no Parlamento do Mercosul. (2003). Câmara dos deputados. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-mistas/cpcms/siglas/siglario2/f/FDA.html>. Acesso em: 31, julho de 2021.
- Reyes, F. G. R. e Prado, M. A. (2001). JECFA - Aditivos e Contaminantes Alimentares. *Notícias ILSI Brasil*, v. 9, n.1, 9.5-6, set. Disponível em < http://ilsibrasil.org/> Acesso em: 03 nov. 2018.
- Who. (2018). Food safety – Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). *World Health Organization*. Disponível em <www.who.int> Acesso em: 03 nov.
- Zanoni, Maria V. Boldrin; Yamanaka, Hideko. (2016). *Caracterização Química, Toxicológica, Métodos de Detecção e Tratamento*. 1 ed. São Paulo: Cultura Acadêmica.

NOVAS NORMAS PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS À REVISTA DE QUÍMICA INDUSTRIAL

(aprovadas pelo Conselho Editorial em 14 de setembro de 2014)

A Revista de Química Industrial (RQI) publica artigos técnico-científicos relacionados à área industrial e à pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&D&I), inclusive o desenvolvimento de técnicas analíticas. Também publica resenhas de livros e outros tópicos das áreas de engenharia química e da química industrial.

Serão aceitos estudos de caso quando contribuírem para aumentar o entendimento acerca de aspectos como riscos à saúde, impactos ambientais, ecoeficiência, emprego de novos materiais etc.

São também bem-vindos artigos versando sobre Educação e História da Química que estabeleçam um elo com a área industrial.

INSTRUÇÕES GERAIS

a) A submissão de um artigo à RQI implica que ele não foi previamente publicado, salvo na forma de resumo ou parte de um trabalho acadêmico (monografia, dissertação, tese), não está sendo submetido simultaneamente a outra revista e não será submetido futuramente, caso aceito para publicação na RQI. Subentende-se que o autor responsável pela submissão tem o consentimento dos demais coautores e das respectivas instituições a que pertençam. Os autores ficam desde já cientes de que todos os direitos autorais do artigo submetido pertencerão à Associação Brasileira de Química, caso o mesmo seja aceito para publicação.

b) Os artigos poderão ser escritos em Português ou Inglês. No caso de artigos em língua inglesa, o texto que não possuir qualidade mínima apropriada a uma publicação em periódico será devolvido aos autores.

c) Todos os artigos devem ser digitados em fonte Arial corpo 11, espaçamento 1,5 entre linhas, margens 2,5 cm e alinhamento justificado. O arquivo deve estar em um dos formatos .doc, .docx ou .rtf e não pode conter qualquer tipo de marcação.

d) A primeira página deverá conter na parte superior o título do artigo (em português e inglês), os nomes completos dos autores e suas respectivas instituições de vínculo (nome e endereço completo, incluindo cidade, estado e país). O autor responsável pelo artigo deve incluir um e-mail de contato. A seguir, deverá constar o resumo, limitado a 150 palavras, três palavras-chave (separadas por vírgulas) e a tradução de ambos para a língua inglesa (abstract, keywords). O resumo deve citar sucintamente o propósito do artigo, os resultados mais relevantes e as conclusões principais.

e) Os artigos submetidos devem enquadrar-se em uma das categorias abaixo:

Artigo completo: refere-se a estudos completos e inéditos. Deve ser estruturado de acordo com a ordem: Introdução - Materiais e métodos - Resultados e discussão – Conclusões – Agradecimentos - Referências.

Comunicação: também se refere a estudo inédito, mas com uma quantidade reduzida de dados experimentais que, contudo, possuem impacto significativo para justificar uma publicação.

Nota técnica: seção destinada à divulgação de métodos analíticos, técnicas laboratoriais ou industriais e aparelhagens desenvolvidas pelos autores do artigo. Deve seguir a mesma estrutura apresentada para os artigos completos.

Revisão: serve à divulgação do estado da arte de uma determinada área da química pertinente ao escopo da RQI.

Opinião: pesquisadores e profissionais renomados de uma determinada área da química abrangida pela RQI podem, a exclusivo convite do Editor, ser convidados a redigir um artigo versando sobre pontos específicos de suas áreas, tais como: política industrial, perspectivas econômicas, mercado de trabalho, investimentos em P&D&I etc.

Para a preparação de seu artigo, a íntegra das normas de submissão pode ser consultada acessando

<http://www.abq.org.br/rqi/instrucoes-para-submissao-de-artigos-tecnicos-cientificos.html>.



SINDIQUIM/RS

**Conduzindo o desenvolvimento da
Indústria Química do Rio Grande do Sul**

Atualmente nossas indústrias estão comprometidas com a sustentabilidade do planeta através da Química Verde que provém da natureza e de onde surge a química para o nosso cotidiano.



SINDICATO DAS INDÚSTRIAS QUÍMICAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Avenida Assis Brasil, 8787 – Sistema FIERGS/CIERGS

Fone: (51) 3347-8758 – Fax: (51) 3331-5200 – CEP 91140-001 – Porto Alegre – RS

e-mail: sindiquim-rs@sindiquim.org.br – site: www.sindiquim.org.br