

# Avaliando Métricas em Química Verde de Experimentos Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas no Ensino Médio

Kayanne Maria S. Santos, Lylian M. A. Lima, Tatiane S. Santos e Ângelo F. Pitanga

A utilização de corantes tem sido uma preocupação mundial, em especial quando se trata de sua relação com as questões de saneamento ambiental. Diversas técnicas têm sido desenvolvidas e/ou aperfeiçoadas, de modo que apresentem melhores resultados na degradação de corantes recalcitrantes. Num momento inicial desta investigação, procedeu-se a adaptação de Processos Eletroquímicos Oxidativos Avançados (PEOAs) para a degradação do corante amarelo de tartrazina (AT), para que pudessem ser reproduzidos em aulas de Ensino Médio. Contudo, os avanços nas pesquisas permitiram observar que a adaptação desses experimentos apresentava diversos elementos da química verde, e com isso, este artigo tem por objetivo apresentar uma avaliação das métricas em química verde de experimentos adaptados para à degradação de amarelo de tartrazina.

► química verde, métricas, adaptação de experimentos, amarelo de tartrazina ◀

1

Recebido em 02/08/2020, aceito em 09/02/2021

**A**s demandas hodiernas sobre as questões ambientais apresentam uma extensa pauta que envolve diversos problemas, entre eles os relacionados à poluição por agentes químicos, com destaque para a classe dos corantes, definidos como “substâncias coradas, que quando aplicadas à fibras confere-lhes uma cor permanente que é capaz de resistir ao desbotamento após exposição solar, luz, água e diversos produtos químicos” (Reck e Paixão, 2016, p. 61).

Aditivos alimentares e compostos sintéticos são adicionados aos alimentos para diversos propósitos, buscando garantir estabilidade, evitando sua deterioração e ainda conferindo textura, aparência, sabor, frescor e cor. Os aditivos coloridos são bastante usados em alimentos, cosméticos, fármacos, indústria têxtil e outras aplicações, dentre eles destacam-se os corantes do tipo azo (-N=N-), por apresentarem em suas estruturas químicas, ao menos um grupo azo ligado ao anel aromático, sua estabilidade química e sua alta solubilidade em água (Ferreira, *et al.*, 2018; Alshehrei, 2020).

O sistema conjugado de elétrons  $\pi$ , entre o anel aromático e o grupo azo, é o responsável pela absorção de luz visível em comprimentos de onda específicos. A clivagem do grupo

azo leva à formação de duas aminas aromáticas, resultando na perda de cor. A cor dos corantes pode ser controlada pela seleção dos substituintes e o número de grupos azos na estrutura química. Tons de coloração amarela, como amarelo de tartrazina, são obtidos usando haletos de ácido acetoacético e compostos heterocíclicos. Tons azuis, como azul de metileno, resultam da substituição do derivado de anilina por um derivado de benzidina (König, 2015).

resultam da substituição do derivado de anilina por um derivado de benzidina (König, 2015).

O amarelo de tartrazina,  $C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$ , cuja estrutura química está representada na Figura 1, em sistemas vivos pode sofrer a redução do grupo azo, por ação enzimática das azoredutases

no fígado, ou ainda por fatores não biológicos, levando à formação de compostos mais tóxicos, como é o caso do intermediário reacional, benzidina (4,4'-diaminodifenil) (Figura 1) (König, 2015; Alshehrei, 2020).

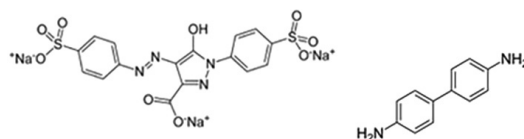


Figura 1. Estruturas químicas da tartrazina (à esquerda) e da benzidina (à direita) (Alshehrei, 2020).



De acordo com Sousa (2016), a consequência da larga utilização de corantes pelas indústrias ocorre quando os efluentes são lançados nos rios e lagos, podendo alterar a coloração da água e o sistema aquático, causando interferência nos processos de fotossíntese e ocasionando problemas ambientais. O lançamento de azo compostos e seus metabolitos em cursos d'água causam impactos negativos em termos de oxigênio dissolvido (OD), carbono orgânico total (COT), demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Estes possuem efeitos agudos tóxicos sobre a fauna

[...] a inserção da educação em química verde (EQV) torna-se fulcral, independentemente do nível de ensino, pois apresenta-se de modo contributivo para instigar o pensamento crítico e o desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão, incentivando os discentes a olharem para os problemas atuais da sociedade (Pitanga, 2016).

e flora aquática, sendo carcinogênicos e mutagênicos em espécies microbiológicas de peixes; já em relação aos seres humanos, podem provocar disfunções nos rins, fígado, cérebro, sistemas nervoso e reprodutivo (Reck e Paixão, 2016).

Diante de tal contexto, emerge a necessidade de buscar formas eficientes de tratamento dos efluentes, podendo ser por processos biológicos, físicos e químicos. A seleção da metodologia de tratamento depende do tipo de efluente a ser tratado e da eficiência que se procura obter. Assim, dentre os mais variados métodos para degradação de corantes recalcitrantes<sup>1</sup>, os Processos Eletroquímicos Oxidativos Avançados (PEOAs)<sup>2</sup> estão entre as tecnologias consideradas eficientes.

Já no contexto atual, a inserção da educação em química verde (EQV) torna-se fulcral, independentemente do nível de ensino, pois apresenta-se de modo contributivo para instigar o pensamento crítico e o desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão, incentivando os discentes a olharem para os problemas atuais da sociedade (Pitanga, 2016). Ainda Pitanga (2016) nos apresenta elementos contidos nos postulados EQV, balizadores para a inserção, problematização, socialização de informações e discussões sobre as questões ambientais.

[A EQV] “ser um processo para toda a vida e ser implementada em todos os contextos; ser interdisciplinar; promover o pensamento crítico, holístico, complexo e a capacidade de resolução de problemas; recorrer a uma diversidade metodológica; promover a compreensão científica e tecnológica das problemáticas abordadas; reger-se por princípios e processos democráticos; ser orientada por e para valores” (Pitanga, 2016, p. 154).

Quanto às questões concernentes às aproximações entre o desenvolvimento de atividades experimentais nas aulas de química e a EQV, dialogamos com Gonçalves *et al.* (2017) a esse respeito. Inicialmente os pesquisadores apontam esta aproximação como uma fundamental iniciativa para a inserção da dimensão ambiental nos currículos de química. Seguem afirmando que a utilização de métricas para avaliar a veracidade de um experimento é um tema que tem ganhado

espaço nas publicações, e indicam que o processo de fomentar o desenho de atividades experimentais, com vistas a essas preocupações, tem favorecido o ponto de vista ambiental. Findam afirmando que a avaliação da dimensão ambiental em atividades experimentais é um imperativo, e precisa se constituir como conteúdo explícito na formação dos docentes em química (Gonçalves *et al.*, 2017).

Iniciativas para inserção de corantes permitem abordar conteúdos como grupos cromóforos, funções e reações orgânicas, radicais livres, azo compostos, reações redox e catálise (Pitanga *et al.*, 2017), ampliando o debate

das questões que envolvem produção, utilização e poluição de corantes, conduzindo as discussões que envolvem às dimensões tecnológicas, ambientais, econômicas, saúde e sociais (Ferreira *et al.*, 2018).

Assim, diante do exposto, o artigo em tela tem por objetivo avaliar, utilizando-se de métricas em química verde, a adaptação de metodologias analíticas para a degradação do corante amarelo de tartrazina (AT), utilizando PEOAs. Ressalta-se que na adaptação foram utilizados materiais de fácil aquisição, visando à reprodução dos experimentos em aulas de química para o Ensino Médio.

### Métricas em Química Verde

Algumas investigações sobre a QV, como as realizadas por Machado (2007; 2014); Ribeiro e Machado (2012); Duarte, Ribeiro e Machado (2015); Gonçalves *et al.*, (2017); Pitanga, Santos e Ferreira (2017) têm apontado preocupações com os falsos casos de química verde. Estes relatam a recorrente falta de avaliações sistêmicas que permitam determinar a acuracidade da veracidade dos processos (*greenness*). Muitos trabalhos apresentam prescrições genéricas, que não realizam qualquer quantificação, ou escrutinação semiquantitativa por meio da utilização de métricas para avaliar a veracidade dos processos, limitando-se a descrever que algum princípio da QV tenha sido contemplado (Pitanga, Santos e Ferreira, 2017). Quanto a isso, alerta Machado (2014):

*Tem sucedido casos em que químicos certamente bem-intencionados na procura de aumento da veracidade, têm produzido trabalho de concepção ou melhoramento de produtos, reações e etc, a fim de melhorar o cumprimento de um ou outro princípio. Esquecem-se, porém, de verificar o que sucede com os restantes, quando alguns deles passam a ser menos bem satisfeitos, pode ocorrer deterioração de veracidade global (produz-se uma “falsa Química Verde” que frustra as boas intenções iniciais, devido a efeitos colaterais esquecidos ou não previstos) (Machado, 2014, p. 20, grifo do autor).*

A verdura química não é simples, assim, não pode ser obtida a partir de métricas unidimensionais, tais como as métricas de massa, a análise do Fator-E, ou da intensidade de massa. A verdura é uma grandeza complexa e vaga, de natureza não só química, mas também ambiental e relacionada aos riscos à saúde e à prevenção de acidentes (Machado, 2014). Uma maneira de minimizar tais limitações passa pela inserção de métricas com o objetivo de superar a perspectiva reducionista e garantir a realização de avaliações globais. Segundo Machado (2014, p. 37), “métrica é um sistema de avaliação do funcionamento de um sistema dinâmico complexo que permita aferir o modo como ele opera, especificamente quanto ao cumprimento dos respectivos objetivos”. As métricas em QV visam superar a perspectiva reducionista, pelo fato de agregar um princípio ou outro, pelo contrário, buscam avaliações holísticas, que garantam a mais completa possível análise do processo.

Numa visão sistêmica, as métricas em química verde pretendem realizar análises da verdura química orientadas pelo cumprimento dos Doze Princípios da QV (Quadro 2). O objetivo da metrificação é avaliar reações, sínteses ou procedimentos, a partir da escrutinação prévia dos protocolos, recolhendo o maior número de informações relevantes sobre o cumprimento dos princípios da QV. São ferramentas de suporte à decisão, não podendo ser aplicadas cegamente e devendo servir para ajudar a estudar os problemas e encaminhar possíveis tomadas de decisões nas atividades químicas (Machado, 2014). A utilização das métricas holísticas apresentam diversas vantagens para o desenvolvimento da QV, entre elas:

1) *Como envolve os Doze princípios, permite o aprofundamento da sua compreensão e um melhor uso deles na perseguição da verdura química;*

2) *Permite uma melhor conscientização sobre a necessidade de abordagens holísticas na prática de Química Verde, e da utilização de instrumentos que possibilitem a confirmação de aumento global da verdura química, quando se fazem alterações com essa intenção (aliás, o alcance é mais amplo: permitem o reconhecimento da utilidade e a importância das métricas holísticas para avaliação dos sistemas complexos em geral);*

3) *Ajuda a interiorizar na mente dos usuários uma atitude proativa para facilitar a transformação da química em Química (mais) Verde (Machado, 2014, p. 225).*

As métricas são úteis para o ensino de química, em particular, pois permite a aproximação dos alunos com os princípios da QV, além do reconhecimento de sua utilidade e importância. Gonçalves *et al.* (2017) defendem a utilização de atividades experimentais como ferramenta para inserção da dimensão ambiental no ensino de ciências, acrescentando que a articulação entre as duas dimensões é observada como renovação necessária, contribuindo com as temáticas

de investigações relacionadas como a experimentação e o ensino. E, nesse relato incentivamos a disseminação da experimentação, a inserção da dimensão ambiental e o fomento a QV.

### Descrição Metodológica para Adaptação do PEOAs

No processo de adaptação do PEOAs, tomamos como referência publicações anteriores de Baio, Ramos e Cavalheiro (2014), e Pitanga *et al.* (2017). Na primeira etapa o sistema foi montado com reagentes analíticos, de modo a reproduzir a metodologia conforme a literatura consultada (Figura 2). Tencionando garantir a reprodutibilidade, o experimento foi planejado de modo que os reagentes analíticos pudessem ser substituídos por materiais adquiridos no comércio local, como farmácias e estabelecimentos de produtos para bolos: bastão de grafite retirado de pilha, água oxigenada cremosa 30% m/V, corante amarelo de tartrazina, comprimidos para anemia (desses foram retirados o revestimento), e vinagre.

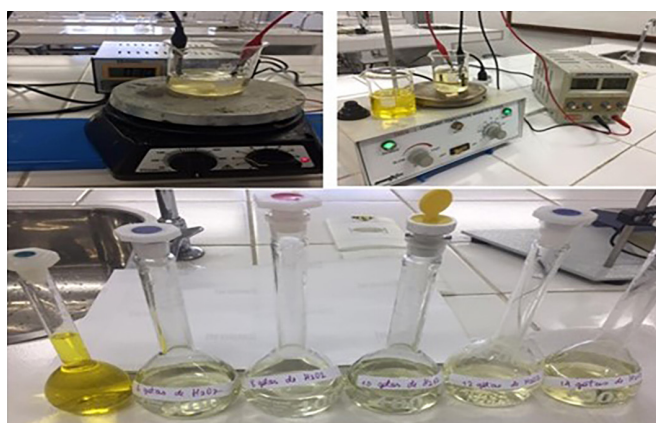


Figura 2. Imagem do sistema montado. A figura superior esquerda apresenta os eletrodos de grafite no processo de eletro-fenton. Na superior à direita tem-se solução padrão de amarelo de tartrazina (AT) e à direita o processo em andamento para decomposição do corante, aqui realizados em condições analíticas. Na figura inferior tem-se, a título de comparação, a solução padrão e as amostras degradadas em função da variação da concentração de peróxido de hidrogênio. Fonte: Arquivo dos autores (2019).

Os dados comparativos são apresentados no Quadro 1. Destacamos que para escolas com dificuldade de acesso ao material, a fonte de tensão pode ser substituída por soquetes para pilhas vendidos em casas para materiais eletrônicos por preço de R\$ 2,00, também evitando o risco de choque elétrico.

Quanto à relação entre a proposta do experimento e sua contribuição para práticas pedagógicas em aulas de química no Ensino Médio, é sabido que poucas escolas da educação básica brasileira possuem espectrofotômetro e, com vistas a superar essa dificuldade material, o experimento foi projetado de modo a garantir a sua reprodutibilidade, que fosse perceptível a olho nu a diminuição da intensidade da coloração amarela, permitindo a correlação entre a diminuição da intensidade de cor e a degradação do corante.

Quadro 1. Quadro comparativo dos procedimentos experimentais em condições analíticas e com materiais de fácil aquisição que podem ser reproduzidos em salas de aulas.

Reagentes/Condições	Reagentes Analíticos	Material de Fácil Aquisição
Corante	[0,1mol/L] analítico	[0,1mol/L] adquirido no comércio local
Sal de Ferro	0,01g de Fe <sup>2+</sup>	0,03g de Fe <sup>2+</sup>
Acidulante	2,0 mL de HCl (regula o pH em 3)	30 gotas de vinagre branco (regula o pH em 3)
Agente oxidante	8 gotas de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 40% m/V	20 gotas de água oxigenada cremosa 30% m/V
Tensão	1,5V	1,5V
Tempo de Degradação	20 min	20 min
Taxa de degradação	90,32%	80,43%

Fonte: Elaborado pelos Autores (2019).

#### Descrição Metodológica das Métricas a Implementar na Avaliação

Na seleção das métricas a serem utilizadas, tomou-se como referência os trabalhos propostos por Ribeiro e Machado (2012), Machado (2014), Alves e Virgens (2016). Assim, serão descritos dois processos semi-quantitativos para a avaliação da verdura do processo, sendo eles o círculo verde (CV) e a matriz verde (MV) obtida através de uma análise SWOT.

O CV é uma métrica gráfica em QV que consiste na produção de um círculo dividido em setores, em número correspondente aos princípios da QV avaliados. A apreciação da métrica é simples e se dá por meio de inspeção visual, estando mais claro o círculo conforme o número de princípios atendidos. Uma métrica binária, baseada em colorir o setor, se o princípio for atendido, e não colorir, se não for, sendo o índice de cumprimento dos princípios (ICP) a razão entre o número de princípios cumpridos/princípios não cumprido x 100% (Ribeiro e Machado 2012; Machado, 2014; Alves e Virgens, 2016).

Já a MV “é uma ferramenta que usa os mesmos critérios do círculo verde na avaliação da verdura química, mas que, por meio da realização de uma análise SWOT, permite obter uma visão mais completa seja da própria verdura química, ou das possibilidades de melhorá-la” (Machado, 2014, p. 194). O acrônimo SWOT resulta das iniciais das palavras inglesas que designam os fundamentos básicos da ferramenta: S (*Strengths* – Pontos Fortes), W (*Weaknesses* – Pontos Fracos), O (*Opportunities* – Oportunidades), T (*Threats* – Ameaças). Esta análise caracteriza-se por analisar e buscar identificar tais aspectos, com o objetivo de avaliar a verdura por meio do cumprimento dos 12 princípios da QV.

Considerando que neste artigo tem-se o objetivo de avaliar a verdura de procedimentos realizados em laboratórios de ensino de química, e como para tais atividades não se pretende projetar o desenho de novos produtos químicos, os princípios 4 (desenvolvimento de compostos seguros) e 11 (análise em tempo real para prevenção da poluição) não são considerados para análise, segundo orientações de Ribeiro e Machado (2012), Duarte, Ribeiro e Machado (2015). Assim sendo, são levados em consideração os critérios do Quadro 2.

Quadro 2. Critérios para avaliação dos cumprimentos dos princípios da Química Verde.

Princípio da QV	Critério de avaliação
P1 – Prevenção	Não se formam resíduos, ou quando se formam têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente.
P2 – Economia atômica	Reações sem reagentes em excesso e sem formação de coprodutos (desconsiderar a água).
P3 – Sínteses menos perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas ou têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente.
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Não se utilizam solventes nem outras substâncias auxiliares. Ou quando se utilizam têm baixos riscos para a saúde e para o ambiente.
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	Pressão e temperaturas ambientais.
P7 – Uso de matérias-primas renováveis	Todos os reagentes e/ou matérias-primas envolvidas são renováveis.
P8 – Redução de derivatizações	Não se utilizam derivatizações.
P9 – Catalisadores	Catalisadores são necessários ou que têm baixos riscos para a saúde e para o ambiente.
P10 – Planificação para degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos.
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes.	As substâncias envolvidas têm um risco baixo de acidente químico.

Fonte: (Ribeiro e Machado, 2012; Machado, 2014).

A análise SWOT é um tipo de avaliação qualitativa realizada com vistas a definir e facilitar a implementação

da verdura química e de medidas que possibilitem melhorá-la. Consiste em identificar os pontos fortes e fracos do experimento em análise, indicando, respectivamente, os pontos positivos e negativos, em relação aos cumprimentos dos princípios da química verde. São também analisadas as implicações de fatores ou imposições que podem afetar o cumprimento dos princípios da QV, identificando as oportunidades, com vistas a torná-lo mais forte, ou aquilo que possa comprometer o seu sucesso, designados por ameaças.

## Resultados e Discussão

De acordo com procedimentos adotados por Ribeiro e Machado (2012), Machado (2014) e Alves e Virgens (2016), inicialmente os protocolos foram investigados para averiguar as condições reacionais, e para que as substâncias envolvidas fossem inventariadas (Quadro 3), com vistas a recolher informações sobre riscos à saúde, ao ambiente, inflamabilidade e reatividade, uso de catalisadores, matérias-primas e dados sobre os produtos de degradação.

Informações sobre as substâncias químicas foram obtidas por meio da consulta das fichas dos dados de segurança, a partir do Sistema de Classificação e Etiquetagem das substâncias químicas harmonizado globalmente (GHS, *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*), conforme referência em Machado (2014) e Gonçalves *et al.* (2017). Na construção do inventário

Quadro 3. Inventário dos critérios para avaliação dos riscos das substâncias envolvidas.

Reagentes	Símbolo	Saúde	Ambiente	Acidente
Corante (AT)	Xn	2	2	3
Sal de Ferro (Sal de Fe <sup>2+</sup> )	T	2	2	3
Acidulante (HCl)	Xi; C	3	2	2
Agente oxidante (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	C	2	3	3
Acidulante (ácido acético)	-	3	3	3

Xi – irritante, Xn – prejudicial, T – tóxico, C – corrosivo, F – muito inflamável, N – perigoso para o ambiente. Fonte: Elaborado pelos Autores (2019).

adaptou-se uma avaliação ternária em três níveis de intensidade, comumente utilizada na métrica de estrela verde e adotada por Alves e Virgens (2016), onde 1 representa riscos elevados; 2 riscos moderados, que são aceitos, embora com algumas restrições; e 3, risco baixo ou caso ideal e plenamente verde.

O Quadro 4 apresenta a análise, tomando como base o referencial da ferramenta SWOT. Como se pode verificar consoante a seu preenchimento, os PEOAs são tecnologias de saneamento ambiental inerentemente verdes. Para além disso, notou-se que a adaptação do processo com material

Quadro 4. Dimensões de Análise com base na ferramenta SWOT.

Dimensões de análises	Metodologia Analítica		Metodologia Adaptada	
	Pontos Fortes	Pontos Fracos	Pontos Fortes	Pontos Fracos
P1	X	-	X	-
P2	X	-	X	-
P3	-	X	X	-
P5	X	-	X	-
P6	X	-	X	-
P7	-	X	X	-
P8	X	-	X	-
P9	X	-	X	-
P10	X	-	X	-
P12	X	-	X	-
<b>Oportunidades</b>			<b>Ameaças</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degradar um composto químico que apresenta riscos à saúde e ao ambiente.</li> <li>- Substituir substância com risco moderado/elevado por substância com baixo risco.</li> <li>- Otimização do processo para alcançar condições estequiométricas.</li> <li>- Otimização do processo do ponto de vista energético para condições de temperatura e pressão ambientais.</li> <li>- Utilização de catalisador sólido.</li> <li>- Não utilização de derivatizações.</li> <li>- Substituir substâncias não renováveis por outras renováveis.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- A utilização de um catalisador metálico (Fe<sup>2+</sup>) que oferece risco à saúde e ao ambiente.</li> </ul>	

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

de fácil aquisição contribuiu para torná-lo ainda mais verde, como demonstrado com base em cálculos, onde o ICP aumentou de 80% para 100% (Figura 3), tornando-se um processo ainda mais favorável para a realização nas condições das salas de aulas, por conta do aumento da segurança e a diminuição de riscos, agregando ainda uma maior verdura ao sistema.

Comparando os dois processos propostos, salienta-se que contemplam similaridades em diversos itens: ambos não formam resíduos e envolvem substâncias inócuas (P1); degradam substância recalcitrante em diversos compostos inócuos (P10); desenvolvidos sem reagentes em excesso e/ou formação de coprodutos (P2); sem necessidade do uso de solventes e ou auxiliares (P5); sem necessidade de derivatizações (P8); ocorrem em condições de pressão e temperatura ambiente (P6), e tanto essas condições como as substâncias envolvidas não oferecem riscos de acidente, representados na Figura 3.

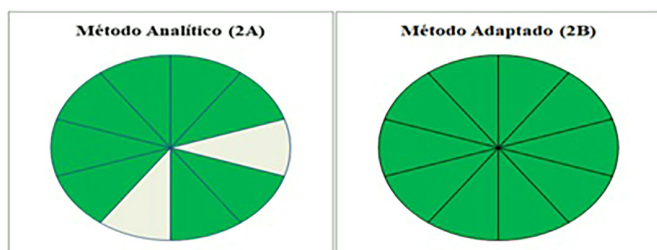


Figura 3. Métrica do círculo verde para o Método Analítico – ICP = 80% (2A); e para o Método Adaptado – ICP 100% (2B). Fonte: Produzido pelos Autores (2019).

Cabe ressaltar que a investigação foi inicialmente desenhada com o objetivo de adaptar o método para que fosse utilizado em aulas de química. Uma vez atingindo tal objetivo, pode-se constatar que os PEOAs apresentavam forte aderência à filosofia da QV, assim, buscou-se, por meio de métricas holísticas, analisá-los alcançando ICP = 80%. Não obstante, verifica-se que sua adaptação, além de alcançar o objetivo supracitado, permitiu a otimização da verdura do processo, alcançando o ICP = 100%. A otimização da verdura do processo deve-se ao cumprimento dos Princípios P3, P7 e P9, pois a solução aquosa de ácido acético (vinagre) permitiu agregar ao sistema o uso de matéria-prima renovável, já que a produção de vinagre, a partir do álcool de cana-de-açúcar, é a mais utilizada no Brasil.

Quanto ao P9, princípio alcançado tanto no método analítico quanto no adaptado, fundados em experiências anteriores de Baio, Ramos e Cavalheiro (2014), procedeu-se pela utilização de bastões de grafite como eletrodos no processo, em substituição a eletrodos metálicos, ou de eletrodos quimicamente modificados. Para tanto, valendo-se do fato de que estes podem ser obtidos de pilhas comuns de 1,5V, que apresentam carbono grafite natural de alta pureza, com um custo inferior a R\$ 2,00. Além disto, eles foram utilizados sem a necessidade de quaisquer pré-tratamentos ou da usinagem, e apresentaram resultados semelhantes aos obtidos com outros tipos de catalisadores.

## Considerações Finais

Os experimentos descritos foram adaptados de modo a serem reproduzidos em salas de aulas e desenhados de modo que se utilizasse materiais de fácil aquisição e baixo custo, que pudessem proporcionar a visualização, discussão e interpretação de fenômenos químicos e temas relevantes como: disponibilidade e tratamento de água em aulas de química.

Por fim, cabe destacar o êxito da pesquisa ao articular três dimensões: 1) Utilização de experimentos e a possibilidade de adaptação dos mesmos para que possam ser utilizados em sala de aula, com materiais de fácil aquisição; 2) A inserção da dimensão ambiental por meio das discussões sobre saneamento ambiental e suas tecnologias, a química verde e a educação em química verde; 3) A utilização de ferramentas de métricas holísticas, que são entendidas como instrumentos que permitem inserir/divulgar a química verde nas diversas modalidades de ensino, e ainda avaliar e evitar os denunciados casos de falsa química verde.

## Notas

<sup>1</sup>Segundo Ali (2010), recalcitrantes são substâncias químicas sintéticas extremamente resistentes à degradação, e são consideradas as principais poluentes ambientais, entre as quais podemos citar: corantes, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), bifenilas policloradas (PCBs), polímeros sintéticos, conservantes de madeira, pesticidas etc.

<sup>2</sup>Processos eletroquímicos oxidativos avançados (PEOAs) são processos de saneamento ambiental empregados em processos de produções mais limpas, mostrando-se eficientes na degradação de compostos recalcitrantes. Baseiam-se na geração de espécies químicas altamente oxidantes, em especial, o radical hidroxila, provocando a efetiva degradação de poluentes, com objetivo de produzir compostos inofensivos ou inertes, como, dióxido de carbono, água e sais orgânicos (Pitanga *et al.*, 2017; Ferreira *et al.*, 2018).

**Kayanne Maria Santana Santos** (kayannesantana21@gmail.com), licenciada em Química pela Faculdade Pio Décimo e docente na rede pública de ensino da Educação Básica. Aracaju, SE – BR. **Lylian Maciel dos Anjos Lima** (lylianmaciel@gmail.com), licenciada em Química pela Faculdade Pio Décimo. Aracaju, SE - BR. **Tatiane Souza dos Santos** (tatianesouzasantos01@gmail.com), licenciada em Química pela Faculdade Pio Décimo, Aracaju, SE – BR. **Lenalda Dias dos Santos** (lenalda@infonet.com.br), engenheira e licenciada em Química pela Universidade Federal de Sergipe. Mestre em Educação pela Universidade Federal da Paraíba e coordenadora Pedagógica do Curso de Licenciatura em Química da Faculdade Pio Décimo. Aracaju, SE – BR. **Ângelo Francklin Pitanga** (afpitanga2@gmail.com), licenciado e mestre em Química, doutor em Educação pela Universidade Federal de Sergipe e professor de Química do IFBA. Atualmente em Cooperação Técnica como Docente no IFS. Lagarto, SE-BR.

## Referências

ALI, H. Biodegradation of synthetic dyes – A review. *Water Air Soil Pollut*, v. 213, p. 251-273, 2010.

ALSHEHREI, F. Role of microorganisms in biodegradation of food additive azo dyes: a review. *African Journal of Biotechnology*, v. 19, n. 11., p. 799-805, 2020.

ALVES, A. F. S. e VIRGENS, C. S. *Análise do processo de produção de biodiesel através da métrica de círculo verde em química verde*. 2016, 40f. Trabalho de Conclusão (Curso Técnico em Biocombustíveis). Instituto Federal da Bahia, Irecê, 2016.

BAIO, J. A. F.; RAMOS, L. A. e CAVALHEIRO, E. T. G. Construção de eletrodo de grafite retirado de uma pilha comum: aplicações didáticas. *Química Nova*, n.37, v.6, p. 1078-1084, 2014.

DUARTE, R. C. C.; RIBEIRO, M. G. T. C. e MACHADO, A. A. S. C. Avaliação da veracidade de atividades laboratoriais de síntese química no ensino superior em Portugal. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, n. 138, p. 35-46, 2012.

FERREIRA, W. M. ROCHA, L. B.; SANTOS, L. D.; SANTOS, B. L. S. R. e PITANGA, A. F. Corantes: uma abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) usando processos oxidativos avançados. *Química Nova na Escola*, v. 40, n. 4, p. 248-257, 2018.

GONÇALVES, F. P.; YUNES, S. F.; GUIATA, R. I.; MARQUES, C. A.; PIRES, T. C. M.; PINTO, J. R. M. e MACHADO, A. A. S. C. La dimensión ambiental de la experimentación en la enseñanza de la química: consideraciones sobre el uso de la métrica holística estrella verde. *Educación Química*, n. 28, p. 99-106, 2017.

KÖNIG, J. Food Colour additives of synthetic origin. SCOTTER, M.J. (org). *Colour additives for food and beverages*. Sawston: Woodhead Publishing, 2015.

MACHADO, A. A. S. C. Métricas da Química Verde – A produtividade atômica. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, n. 107, out./dez., p. 47-55, 2007.

\_\_\_\_\_, *Introdução às Métricas da Química Verde: Uma Visão Sistêmica*. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2014.

PITANGA, A. F. Crise da Modernidade, Educação Ambiental, Educação para o Desenvolvimento Sustentável e Educação em

Química Verde: (Re)pensando paradigmas. *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v. 18, n. 3, set./nov., p. 141-159, set./nov., 2016.

\_\_\_\_\_, SANTOS, B. S. L. R.; ROCHA, L. B.; SANTOS, L. D. e FERREIRA, W. M. Adaptação metodológica de Processos Oxidativos Avançados (POAs) na degradação de corantes para aulas experimentais de ensino médio. *Química Nova na Escola*, v. 39, n. 4, nov., p. 373-377, 2017.

\_\_\_\_\_, SANTOS, L. D. e FERREIRA, W. M. Os discursos sobre química verde na revista científica *Química Nova*. *Enseñanza de Las Ciencias*, n. extra, p. 3149-3153, 2017.

RECK, I. M. e PAIXÃO, R. M. Impactos ambientais dos corantes azo e tratamentos de remoção: Uma revisão. *Revista Uningá Review*, v. 28, n. 2, out./dez., p. 61-66, 2016.

RIBEIRO, M. G. T. C. e MACHADO, A. A. S. C. Novas métricas holísticas para avaliação da veracidade de reações de síntese em laboratório. *Química Nova*, n. 35, v. 9, p. 1879-1883, 2012.

SANTOS, A. J.; LIMA, M. D.; SILVA, D. R.; GARCIA-SEGURA, S. e MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Influence of the water hardness on the performance of electron-Fenton: decolorization and mineralization of Eriochrome Black T. *Electrochimica Acta*, n. 208, p. 156-163, 2016.

### Para Saber Mais

CORRÊA, A. G. e ZUIN, V. G. (Org). *Química Verde: Fundamentos e Aplicações*. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

PITANGA, A. F.; SANTOS, B. L. S. R.; SANTOS, K. M. S.; SANTOS, L. D.; ROCHA, L. B.; LIMA, L. M. A.; CUNHA, S. J.; SANTOS, T. S. e FERREIRA, W. M. *Pensar a experimentação no ensino de química: experimentos adaptados com materiais de fácil aquisição*. Aracaju: EDIFS, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3a12un1>.

SANDRI, M. C. M.; GOMES, S. I. A. A. e BOLZAN, J. A. *Química Orgânica Experimental: aplicação de métricas holísticas de verdura: estrela verde e matriz verde*. Curitiba: Editora IFPR, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3bYIpFw>.

**Abstract:** *Evaluating Metrics in Green Chemistry of Experiments Adapted for the Degradation of Dye Yellow Tartrazine.* Use of dyes has been a worldwide concern, especially when it comes to environmental sanitation issues. Various techniques have been developed and/or improved so that they have better results in the degradation of recalcitrant dyes. At the beginning of this investigation, we proceeded with the adaptation of Advanced Oxidative Electrochemical Processes (AOEPs) for the degradation of tartrazine yellow dye (TY) so that they could be reproduced in high school classes. However, the advances in the research allowed to observe that the adaptation of these experiments presented several elements of the green chemistry, and with this, this article aims to present an evaluation of metrics in green chemistry of experiments adapted for the degradation of tartrazine yellow.

**Keywords:** green chemistry, metrics, adaptation of experiments, tartrazine yellow