

## ALTERNATIVAS PARA SOLVENTES MAIS SEGUROS NAS ATIVIDADES DE ENSINO E PESQUISA EM LABORATÓRIO

Manoel Messias Coutinho Meira; Beatriz da Mata Silva; Lara de Oliveira Carvalho; Lorena Correia Rodrigues da Rocha; Polyane Alves Santos

*Instituto Federal da Bahia, yoshishairy@hotmail.com*  
*Instituto Federal da Bahia, bia.silva1998@hotmail.com*  
*Instituto Federal da Bahia, deoliveiracarvalho.lara@gmail.com*  
*Instituto Federal da Bahia, lorecrodrigues@gmail.com*  
*Instituto Federal da Bahia, polyttamat@yahoo.com.br*

**Resumo:** A utilização de tecnologias mais limpas e mais seguras é uma tendência nos ramos científico, industrial e educacional. Seja nos processos industriais ou no ambiente estudantil, que muitas vezes não é preparado para a prática em laboratório, os indivíduos envolvidos se submetem a riscos químicos. Há a necessidade de explorar soluções para prevenir potenciais perdas materiais, humanas e danos ao meio ambiente, em que é melhor prevenir do que tratar ou limpar o resíduo após sua criação. A forma como os solventes são selecionados e utilizados nos processos químicos deve ser escolhida para minimizar potenciais acidentes químicos como os decorrentes de contato, explosões e incêndios. Os experimentos devem ser planejados utilizando materiais com menor toxicidade, enquanto alcançam os objetivos esperados e, após o descarte adequado, eles não persistam no ambiente, com certa facilidade de degradação. O conceito de química verde alia a segurança, o custo e a performance, tornando-se uma ferramenta eficiente a ser cogitada no âmbito pedagógico. As substituições como o sistema gelo-seco/acetona por gelo-seco/isopropanol, hexanos por pentanos e heptanos, THF por 2-MeTHF e reações estequiométricas por reações catalíticas são alternativas que também devem ser consideradas. Em determinados contextos, há ainda a possibilidade de utilizar solventes verdes como o biodiesel, limoneno, lactato de etila e etanol como diluentes. Neste sentido, este artigo tem o objetivo de propor alternativas para alguns solventes clássicos utilizados no ambiente laboratorial de química experimental, buscando incentivar o ensino e a pesquisa voltados para a química verde. São apresentados solventes e processos que tem a pretensão de, além de reduzir a quantidade de resíduos gerados, diminuir ou eliminar a exposição dos estudantes e pesquisadores a reagentes tóxicos.

**Palavras-chave:** Laboratório, Química experimental, Química verde, Solventes.

### 1 INTRODUÇÃO

Os riscos aos quais se expõem os estudantes dentro de um laboratório de química podem ser fatais caso não haja o devido cuidado. A integridade física dos participantes de aulas práticas está associada às condições ambientais em que se inserem. Tais condições estão relacionadas ao processo de instalação, montagem, adequação e operação de laboratórios.

Os riscos possuem origens distintas em cada local, mas muitos provêm da etapa de projeto. De acordo com o Conselho Regional de Química (2007), diversas instituições de ensino se estabelecem em instalações prediais que não foram originalmente construídas para incorporarem um ambiente laboratorial. Esse modelo de gestão sem planejamento pode acarretar o aumento de acidentes com contaminantes químicos, representando perigo, principalmente aos pesquisadores e estudantes da instituição, além de haver a possibilidade de contaminação externa.

Gomes (2017) define contaminante químico como qualquer substância orgânica ou inorgânica, natural ou sintética, que durante a fabricação, manejo, transporte, armazenamento e uso, pode se inserir no ambiente com efeitos prejudiciais para a saúde dos organismos presentes. Assim, fica evidente o perigo que estas substâncias representam, e os danos que podem ocasionar com ações acidentais. Diante disso, faz-se necessário a utilização de menos componentes químicos, pois isso afetaria a ascensão desses acidentes e teria como resultado menos exposição a ameaças de uma contaminação.

A exposição a substâncias químicas na forma líquida, gasosa ou particulada pode provocar danos à saúde quando estas entram em contato ou penetram no organismo. Segundo Schneider, Gamba e Albertini (2011), os principais meios de contaminação no organismo são através das vias respiratórias, da pele ou pelo trato digestivo. Ademais, o tipo de dano causado depende da substância e da intensidade, ligado ao tempo de exposição, quantidade incorporada e área afetada. Com isso, há a facilidade de contaminação nos laboratórios mesmo sem a efetivação de um acidente, assim como com possibilidade de agravantes para situações já desencadeadas por um contexto prévio.

Silva e Machado (2008) destacam a importância das aulas experimentais em química com o intuito de diminuir o índice de acidentes nos laboratórios:

A aula experimental em Química pode ser considerada uma estratégia pedagógica dinâmica que tem a função de gerar problematizações, discussões, questionamentos e buscas de respostas e explicações para os fenômenos observados, possibilitando a evolução do aspecto fenomenológico (macroscópico) observado para o teórico (microscópico), e chegando, por consequência, ao representacional (SILVA; MACHADO, 2008).

A função pedagógica das aulas experimentais não é apenas a compreensão dos fenômenos químicos, mas também o entendimento dos processos de segurança. Entretanto, Silva e Machado (2008) constataram que em muitos laboratórios escolares não há um controle dos produtos armazenados, nem dos resíduos químicos produzidos. Após as aulas experimentais, os resíduos são frequentemente dispostos em lixo comum ou na pia sem critérios de descarte. Para tanto, se torna imprescindível o seguimento de um descarte adequado de toda e qualquer substância química contaminante que se torna obsoleta nestes laboratórios, assim como a organização referente ao armazenamento destes produtos.

O presente trabalho pretende discutir alternativas mais seguras para solventes químicos convencionais utilizados no ambiente laboratorial nas atividades de ensino e pesquisa. Dessa forma,

pretende-se instigar o desenvolvimento de aulas experimentais mais participativas, em que os discentes possam aprender a manusear reações com menor risco envolvido.

## **2 METODOLOGIA**

Foi realizada uma pesquisa de natureza bibliográfica acerca da situação dos laboratórios de química nas instituições de ensino e o tratamento dado aos reagentes nesses locais, nas etapas de armazenamento, manuseio e descarte. Para Tachizawa e Mendes (2006), a pesquisa teórica, em geral, busca compreender ou proporcionar um espaço para discussão de um tema ou uma questão intrigante da realidade.

Após o conhecimento dos riscos, foi feita uma investigação com relação a solventes comuns às práticas de ensino e pesquisa, e a busca por compostos fisicamente e quimicamente semelhantes, que apresentassem menor toxicidade à saúde humana e ambiental. Foram utilizadas fontes diversas para a coleta de materiais, passando por guias para implementação de laboratórios em ambientes escolares, artigos científicos e sites institucionais de vendedores especializados em solventes.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O desenvolvimento da prática segura vai além das preocupações com os perigos decorrentes da toxicidade química, e inclui o uso eficiente de energia, a redução de resíduos e o planejamento para disposição final do produto. A implementação de produtos e processos químicos nas aulas práticas segue diferentes sentidos a depender dos objetivos que o tutor pretende alcançar.

Em muitos laboratórios é comum encontrar o uso indiscriminado de certos solventes perigosos. Em alguns casos é razoável a não utilização de solventes, mas sim dos reagentes entre si para tornar a reação possível através, por exemplo, do processo de fundição. Entretanto, algumas alternativas para solventes tradicionais podem ser implementadas visando tornar o manuseio mais seguro, enquanto garante que reação ocorra normalmente.

Dentre as principais alternativas para solventes, destacam-se a substituição do sistema gelo-seco/acetona (-78°C) para banhos de resfriamento pelo gelo-seco/isopropanol (-77°C). Schneider, Gamba e Albertini (2011) afirmam que o isopropanol funciona em temperatura semelhante e a menor volatilidade em comparação à acetona reduz o risco de inalação. A baixa emissão de vapores também propicia imersões mais longas graças à conservação do material.

Outro solvente de usual é a classe dos hexanos, que são nocivos quando inalados por um período prolongado, oxidam no organismo humano, são neurotóxicos, atacando o sistema nervoso

central, e causando náuseas, dores de cabeça e tontura. São amplamente utilizados na determinação de índice de refração de minerais e nos termômetros, normalmente como uma tinta azul ou vermelha, para substituir o mercúrio (PESCE *et al.*, 2017).

Os heptanos e pentanos podem substituir os hexanos em muitos casos porque as propriedades químicas desses hidrocarbonetos são similares às dos heptanos, porém são menos tóxicos devido ao número ímpar de carbonos, que altera o seu produto metabólico no organismo. Leite (2008) afirma que o hexano é o hidrocarboneto alifático mais tóxico da classe dos alcanos, o que faz com que seu uso deva ser evitado.

O tetrahidrofurano (THF) é um solvente orgânico éter cíclico de cinco membros que possui baixa volatilidade à temperatura ambiente e coloração incolor. É solúvel em água, álcoois, ésteres e acetona, atuando como solvente cromatográfico para cromatografia de permeação e solvente de reação para Reagentes de Grignard, metais alcalinos, compostos de metal de alquila e arilalquila, hidretos e borohidretos de alumínio alcalino, esteróides e polímeros orgânicos de alto peso molecular (INVISTA, 2017). No entanto, é perigosamente inflamável e explosivo quando é exposto ao ar e forma peróxidos.

De acordo com Aul e Comanita (2007), o 2-Metiltetraidrofurano (2-MeTHF) possui vantagens sobre o THF porque sua queima não aumenta a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico e é imiscível em água, o que favorece a separação de fases para reuso e reciclagem. Além disso, possui menos impurezas, é menos volátil, possui ponto de inflamação mais alto e é mais estável em condições ácidas, sendo mais seguro.

O biodiesel, combustível renovável formado de mono-alquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, que é obtido pelo processo de transesterificação, representa uma possibilidade de atividade para transformação da biomassa no laboratório. O biodiesel derivado de óleos vegetais é considerado de origem verde e, além do seu potencial energético, pode ser utilizado como solvente ou diluente com baixo impacto.

O limoneno, que é a maior parte do óleo extraído da casca de frutas cítricas, se configura como um solvente com alto grau de pureza, imiscível com a água que pode substituir produtos como a acetona, aguarrás, tolueno, éteres glicólicos e solventes orgânicos clorados. Embora seja altamente inflamável e volátil, o limoneno não é tóxico, porém sofre auto-oxidação e foto-oxidação, alterando-se quimicamente e se tornando irritante à pele. Ainda assim, é um solvente biodegradável menos tóxico que a maioria dos solventes minerais.

O lactato de etila é uma molécula orgânica pertencente ao grupo dos ésteres, obtido pela reação entre o ácido láctico e o etanol, ou pela fermentação do milho. É um solvente biodegradável alternativo menos tóxico para o ambiente e para a saúde humana. O etanol sozinho também pode ser um bom solvente, visto que tem sua produção a partir de fontes renováveis. Segundo Cardozo et al. (2013), em baixas concentrações, o etanol pode ser descartado como resíduo comum, devido a sua baixa toxicidade.

As reações calíticas são sempre preferíveis em relação às reações estequiométricas. De acordo com Lenardão et al. (2003), as reações que utilizam catalisadores heterogêneos são, em geral, mais limpas, mais seletivas e mais economicamente vantajosas, graças à possibilidade de reutilização do catalisador. A formação dos sais inorgânicos nas reações também diminui a quantidade de resíduos gerados, o que se caracteriza como uma vantagem ecológica.

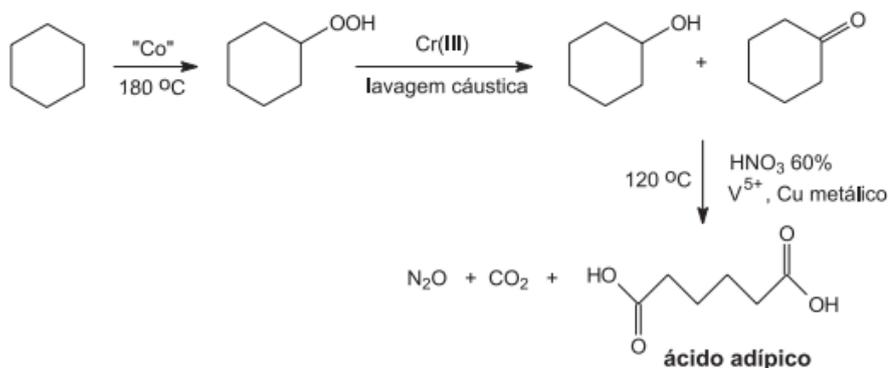
O uso de biocatalisadores, embora apresente limitações em processos industriais na aplicação de enzimas em sua forma nativa, estão sendo controladas com as novas técnicas de biologia molecular e metodologias de seleção. A utilização de enzimas em solventes orgânicos é bastante utilizada em síntese orgânica de ésteres, lactonas, amidas, peptídeos e perácidos.

A exemplo de processo produtivo mais limpo utilizando catálise, pode-se destacar a produção de ácido adípico, que é utilizado na fabricação do nylon-6,6, presente em fibras de carpete, tapeçaria, reforço de pneus, partes de automóveis, entre outros. A produção, que emprega ácido nítrico como agente oxidante em uma das etapas, é, como Lenardão et al. (2003) afirma, responsável pela emissão de 5 a 8% de todo  $N_2O$  antropogênico atmosférico, um dos principais contribuintes para o efeito estufa e a destruição da camada de ozônio.

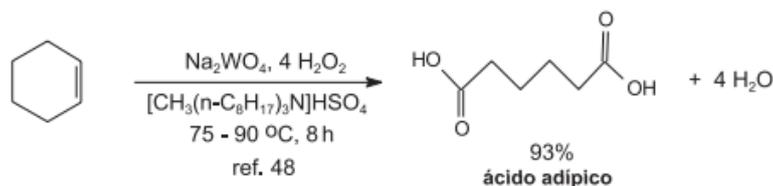
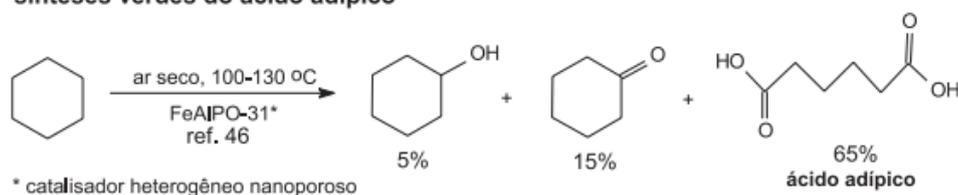
Os dois métodos alternativos para oxidação de hidrocarbonetos representados eliminaram a utilização do ácido nítrico, além de ser mais eficiente energeticamente e economicamente. Em um deles utiliza-se como agente oxidante a catálise heterogênea e ar, no outro, são empregadas condições de Catálise de Transferência de Fase (CTF) e água oxigenada aquosa. Os dois casos representados na Figura 1, eliminaram a necessidade de solventes, assim como a produção de resíduos tóxicos.

Figura 1 - Métodos de obtenção do ácido adípico: processo industrial clássico e duas alternativas de síntese verde.

#### síntese tradicional do ácido adípico (síntese marrom)



#### sínteses verdes do ácido adípico



Fonte: Lenardão et al. (2003).

Do ponto de vista ambiental e do ponto de vista energético, a síntese verde é exitosa e eficiente, representando um grande avanço no meio científico e tecnológico. Reed e Hutchison (2000) desenvolveram um método alternativo ao utilizando reagentes verdes (peróxido de hidrogênio), solvente (água) e métodos (CTF e reciclagem de catalisadores) para aplicação em um curso de química orgânica experimental a nível de graduação na Universidade de Oregon, nos Estados Unidos.

De forma geral, a substituição dos solventes deve ser feita com cuidado porque, embora menos nocivos à saúde e pouco prejudiciais ao meio ambiente, podem ser agentes perigosos ao desencadear reações inconvenientes. Ademais, a substituição de um componente pode acarretar a necessidade de um caminho de reação mais longo ou com acréscimo de reagentes, o que não necessariamente significa ganho ecológico, econômico e de diminuição de riscos.

## 4 CONCLUSÕES

O uso de substâncias como os solventes deve ser evitado no laboratório, pois a exposição a elas representa perigos para a saúde dos que as manuseiam e para o ambiente. Entretanto, sendo seu uso necessário, é possível amenizar possíveis danos através de substituições de alguns solventes convencionais, por outros mais seguros capazes de cumprir as mesmas propostas.

Substituições como o sistema gelo-seco/acetona por gelo-seco/isopropanol, hexanos por pentanos e heptanos e THF por 2-MeTHF tornam o laboratório mais seguro e com menor impacto ambiental dos processos. Além disso, solventes verdes como o biodiesel, limoneno, lactato de etila e etanol são destaque entre os diluentes, por possuírem origens naturais, baixa toxicidade, alto potencial comercial e de simples manipulação efetiva.

As reações catalíticas, em detrimento das reações estequiométricas tendem a ser mais vantajosas, pela possibilidade da reutilização do catalizador e por gerarem menos resíduos. Como exemplo, a produção de ácido adípico pelos métodos alternativos, substituindo o ácido nítrico como agente oxidante por processos catalíticos representou um marco na química verde. Um dos métodos ainda foi adaptado para ser empregado no ambiente laboratorial experimental com finalidades pedagógicas.

O encaminhamento e tratamento dos resíduos gerados feitos sem o devido cuidado é uma realidade nos laboratórios de muitas instituições de ensino. Assim, essas são medidas que visam tornar os laboratórios de química ambientes mais seguros e democráticos para os estudantes e pesquisadores que o frequentam. A inserção de tópicos de química mais sustentáveis no currículo dos estudantes, a nível de graduação, é uma realidade. Além disso, a demanda crescente por solventes alternativos atinge a indústria, em que componentes mais “verdes” vêm ganhando notoriedade e importância.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUL, R.; COMANITA, B. **A green alternative to THF**. Chemicals propose 2-methyl tetrahydrofuran as a cost-effective alternative to widely used tetrahydrofuran chemistry. Pennakem, 2007.

CARDOZO, K. H. M.; NAKAMURA, ERNESTO, V. A. R. T.; CAVASSIN, E. D.; GONÇALVES, A. S. E.; GIANNETTI, B. F.; CARVALHO, V. M. Aplicação da Química Verde na Análise de Esteroides: Uso do Etanol Para Extração em Fase Sólida como Alternativa Sustentável. In: INTERNATIONAL WORKSHOP | ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 4., 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Journal of cleaner production, 2013.

CONSELHO Regional de Química IV Região (SP-MS). **Guia de Laboratório para o Ensino de Química: instalação, montagem e operação**. São Paulo: 2007.

CONTI, R.; RODRIGUES, J. A. R.; MORAN, P. J. S. Biocatálise: avanços recentes. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 5, 2001. Disponível em: <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422001000500014](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422001000500014)>. Acesso em 7 set. 2017.

INVISTA. **Tetrahidrofurano (THF)**. Um solvente industrial. Disponível em: <[invista.com/por/spandex/thf.html](http://invista.com/por/spandex/thf.html)>. Acesso em 6 set. 2017.

LEITE, E. M. A. **Solventes orgânicos**. São Paulo: Atheneu Editora, 2008.  
PESCE, A. C.; TONON, D.; ORRU, J.; OLIVEIRA, M. G. R.; FOGAÇA, R.; VULCANO, S. A. **Extração com Solventes**. Disponível em: <[goo.gl/RExoxP](http://goo.gl/RExoxP)>. Acesso em: 06 set. 2017.

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F. "Green Chemistry" - Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003. Disponível em: <[quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol26No1\\_123\\_19.pdf](http://quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol26No1_123_19.pdf)>. Acesso em 7 set. 2017.

REED, S. M.; HUTCHISON, J. E. Green Chemistry in the Organic Teaching Laboratory: An Environmentally Benign Synthesis of Adipic Acid. **Journal of Chemical Education**, v. 77, n. 12, p. 1627, 2000. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed077p1627>>. Acesso em: 7 set. 2017.

SCHNEIDER, R.P.; GAMBA, R.C.; ALBERTINI, L.B. **Manuseio de Produtos Químicos. Capítulo 5: Perigos Associados a Equipamentos e Acessórios do Laboratório**. São Paulo: ICBII USP, 2011. 28 p. Protocolo da Rede PROSAB Microbiologia. Área: Métodos Básicos. Disponível em: <<http://www.prosabmicrobiologia.org.br/rede/protocolos>>. Acesso em: 06 set. 2017.

SILVA, R.R.; MACHADO, P.F.L. A experimentação no Ensino Médio de química: a problemática da segurança em laboratórios de escolas públicas do Distrito Federal. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 14, n. 2, 2008.