**REDEQUIM**

Revista Debates em Ensino de Química

## ANÁLISE DE EXPERIMENTOS DE QUÍMICA ORGÂNICA SOB UMA PERSPECTIVA DE QUÍMICA VERDE

Samuel Fernandes Pimenta<sup>1</sup>, Sandra Inês Adams Angnes Gomes<sup>2</sup>,  
Marilei Casturina Mendes Sandri<sup>3</sup>  
(samuelpimenta1992@hotmail.com)

1,2,3. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR)

**09**

### RESUMO

Este trabalho apresenta a análise de verdura química de experimentos realizados nas aulas experimentais de Química Orgânica no ensino superior. Para realização dessas análises empregou-se as métricas Matriz Verde, uma métrica qualitativa, e Estrela Verde, uma métrica semi-quantitativa que mostra graficamente o atendimento dos princípios da Química Verde. Foram analisados 03 (três) propostas experimentais realizadas nas aulas de Química Orgânica Experimental no curso de Química do IFPR – Campus Palmas (Experimentos A) e comparou-se com experimentos correlatos, proposto por Pavia et al (2009) (Experimentos B). Os resultados demonstram que os Experimentos A apresentam maiores índice de verdura quando comparados com os experimentos B, no entanto ambos os protocolos experimentais analisados indicam possibilidades de melhoria do ponto de vista da Química Verde. A utilização da Matriz Verde e Estrela Verde mostrou ser uma importante ferramenta para disseminar o conhecimento da Química Verde, bem como, demonstrar para o acadêmico a importância de conhecer suas práticas e os possíveis resultados negativos que as mesmas podem trazer.

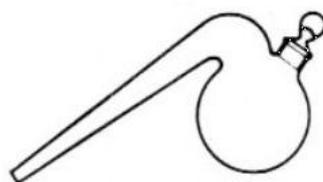
**PALAVRAS-CHAVE:** *Métricas de Verdura, Química Verde, Ensino de Química Verde.*

Samuel Fernandes Pimenta: Possui licenciatura em Química pelo Instituto Federal do Paraná (IFPR). Atualmente é Professor da Educação básica da rede estadual de ensino do Paraná.

Sandra Inês Adams Angnes Gomes: mestre em Química pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB). Atualmente é docente do curso de Química do Instituto Federal do Paraná (IFPR).

Marilei Casturina Mendes Sandri: doutora em Educação Para a Ciência e o Ensino de Matemática pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Atualmente é docente do curso de Química do Instituto Federal do Paraná (IFPR).





**REDEQUIM**

Revista Debates em Ensino de Química

## ANALYSIS OF ORGANIC CHEMISTRY EXPERIMENTS FROM A PERSPECTIVE ON GREEN CHEMISTRY

### ABSTRACT

This work presents the analysis of chemical greens from experiments carried out in the experimental classes of Organic Chemistry in higher education. For the accomplishment of these analyzes the Green Matrix metrics were used, a qualitative metric, and Green Star, a semi-quantitative metric that shows graphically the fulfillment of the principles of Green Chemistry. Three experimental proposals were carried out in Experimental Organic Chemistry classes at the IFPR - Campus Palmas (Experiments A) chemistry course and compared with related experiments, proposed by Pavia et al (2009) (Experiments B). The results demonstrate that Experiments A present higher greens index when compared with experiments B, however both experimental protocols analyzed present possibilities of improvement from the point of view of Green Chemistry. The use of the Green Matrix and Green Star has shown to be an important tool to disseminate the knowledge of Green Chemistry, as well as to demonstrate to the academic the importance of knowing their practices and the possible negative results that they can bring.

**KEYWORDS:** *Greenhouse Metrics, Green Chemistry, Green Chemistry Teaching*



## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao seu caráter de transformação e modificação da matéria, a química tem um potencial poluidor intrínseco, mas cabe aos químicos amenizar os danos causados, seja aumentando a eficiência atômica, diminuindo o uso de energia, reduzindo os perigos físicos, ambientais e para a saúde ou tentando utilizar reagentes renováveis e de fácil degradação. Com isso, a Química Verde (QV), surge para debater, criticar e reformar as práticas químicas, sendo elas práticas industriais, universitárias, ou mesmo aquelas desenvolvidas pelos professores na educação básica, pois compreende-se que desde a educação básica deve-se buscar formar sujeitos atentos às questões ambientais.

A QV apresenta princípios, como mostrado no Quadro 1, que norteiam e buscam tornar as ações químicas menos nocivas ao ambiente e à saúde humana, no entanto, é necessário avaliar globalmente o cumprimento dos princípios da QV, ver como os mesmos vem sendo difundidos e aplicados em todas as práticas químicas.

As aulas experimentais em cursos superiores de química e áreas afins se mostram um ambiente muito importante para difusão do conhecimento de QV, pois coloca o educando diante das problemáticas que suas futuras ações podem trazer. Diante disso, neste artigo, são apresentadas análises de verdures químicas de experimentos introdutórios da Química Orgânica, os quais costumam explorar técnicas de determinação de propriedades físicas das substâncias orgânicas, tais como: Determinação do Ponto de Fusão (DPF), Determinação do Ponto de Ebulição (DPE) e Recristalização, comumente realizadas em cursos superiores de Licenciatura em Química e áreas afins. A análise da verdures destes experimentos foi realizada através da Matriz Verde (MV) e Estrela Verde (EV) que são métricas holísticas e permitem avaliar de forma abrangente os princípios da QV aplicáveis ao procedimento químico (MACHADO, 2014).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste artigo, em que buscou-se tratar da QV e realizar a análise de verdures químicas de experimentos didáticos desenvolvidos no ensino superior, a

fundamentação teórica se pautará em tratar da emersão da QV, a QV e o Ensino de Química e as Métricas de análise de Verdura Química.

## 2.1 Química Verde

A química se desenvolveu como ciência a partir do século XVIII, juntamente com a revolução industrial. No entanto, com o desenvolvimento científico-tecnológico e conseqüentemente o econômico acabou por negligenciar as implicações sociais e ambientais desse crescimento acelerado e desordenado. Como afirma Leff (2011) o ambiente era visto apenas como uma externalidade, da qual se coletava matéria prima e para a qual se devolviam os resíduos.

Para Dennis (2000), não há dúvidas que a vida humana foi aprimorada pela química. Isso é algo que os químicos e estudantes precisam celebrar. No entanto, o autor também fala dos problemas ambientais como o Dicloro-difenil-tricloreto (DDT), o esgotamento do ozônio, o Canal do Amor, Bhopal e o rio Cuyahoga como sendo exemplos de “química errada”. Carson (1962) em seu livro Primavera Silenciosa denuncia os danos causados ao ambiente devido ao uso de agroquímicos, pesticidas e outros, como é o caso do DDT. A indústria farmacêutica, com leis não tão severas, desenvolvia e comercializava fármacos dos mais vários tipos, sem os devidos testes e responsabilidades, como é o caso da Talidomida que foi utilizado por mulheres grávidas para aliviar náuseas. Em 1963, foi descoberto que a Talidomida também era responsável pela má formação congênita em muitas crianças. Depois do incidente, estudos comprovaram que um dos enantiômeros da Talidomida (dextrogira) tinha efeitos de cura, mas outro enantiômero que também estava presente no medicamento era responsável dos defeitos congênito (SOLOMONS, 2001). Diante desses e muitos outros fatos, a cobrança por uma química intrinsecamente segura foi inevitável.

Na década de 1990 várias organizações mundiais se atentaram para a necessidade de uma química mais sustentável, com maior consciência de seus impactos e na busca por tornar-se menos nociva. A expressão dessa tentativa foi materializada em 1991, quando a EPA – Agência Ambiental Norte Americana lançou os primeiros programas de incentivo a práticas químicas menos poluentes, das quais surgiu a QV. Essa iniciativa serviu de referência para outras organizações como as Nações Unidas, a União Européia e a

Comunidade Econômica do Pacífico Asiático, realizarem pesquisas voltadas para QV (ANASTAS e KIRCHHOF, 2002; TUNDO, et al 2000). Em 2000 a IUPAC – União Internacional de Química Pura e Aplicada criou o subcomitê Interdivisional de Química Verde, consolidando assim, a importância da QV para a comunidade internacional de química.

O termo Química Verde é definido por Anastas e Werner (1998) e citado por Anastas e Kirchof (2002 p. 1) como sendo:

A Química Verde é o design de produtos químicos e processos que reduzem ou eliminam o uso e geração de substâncias perigosas. Os avanços na Química Verde abordam riscos óbvios e aqueles associados a tais questões globais, a mudança climática, a produção de energia, a disponibilidade de um seguro e abastecimento adequado de água, produção de alimentos e a presença de substâncias tóxicas no meio ambiente (ANASTAS e KIRCHHOF, 2002, p. 1).

Logo, essa definição, apesar de direta, é bastante abrangente, atendendo as perspectivas de uma ciência que busca maior sustentabilidade. Anastas e Werner (1998) também definiram os 12 Princípios da QV. São eles:

**Quadro 1: Princípios da QV**

| <b>Princípio (P)</b>                           | <b>Critério</b>   |
|--|---|
| P1. Prevenção.                                 | Evitar a formação de resíduo é melhor que trata-lo.   |
| P2. Economia atômica.                          | Buscar utilizar 100% dos materiais iniciais no produto final.   |
| P3. Síntese de produtos menos perigosos.       | Sempre que viável, as sínteses de produtos químicos devem buscar utilizar e gerar substâncias com baixa ou nem uma toxicidade a saúde humana e ao ambiente. |
| P4. Desenho de produtos seguros.               | Os produtos químicos devem ser desenhados de tal forma que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.                                   |
| P5. Solventes auxiliares mais seguros.         | Não utilizar solventes auxiliares e quando usar, sempre que possível, utilizar solventes com baixa periculosidade.  |
| P6. Eficiência energética.                     | O uso de energia ao realizar os processos químicos, deve sempre ser minimizado e, se possível, realizar em temperatura e pressão ambiente.                  |
| P7. Uso de fontes renováveis de matéria-prima. | Sempre que técnica e economicamente viável, a utilização de matérias renováveis deve ser escolhidos.  |
| P8. Evitar a formação de                       | A Derivatização desnecessária deve ser minimizada ou, se possível, evitada. Estas   |

|  |   |
|--|---|
| derivados.   | requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.   |
| P9. Catálise.  | Reagentes catalíticos são os melhores reagentes estequiométricos.   |
| P10. Desenho para a degradação.                                    | Os produtos químicos devem ser desenhados para que no final sejam degradados inoacualmente e não persistam no ambiente.                                     |
| P11. Análise em tempo real para a prevenção da poluição.           | A necessidade de se criar ferramentas analíticas que acompanhe todo processo e controle em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.            |
| P12. Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes. | É necessário escolher processos químicos com substâncias mais seguras, evitando o risco de acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios. |

**Fonte: Anastas e Werner. (2002, p. 2 Tradução própria)**

Os 12 princípios da QV possibilitam repensar as atividades químicas, incluindo as práticas experimentais didáticas, de uma forma mais consciente e menos agressiva ao meio ambiente e a saúde, permitindo ao estudante, futuro profissional desta área, fazer relações teórico/prático mais profundas com o objeto de estudo, propiciando conhecimento e domínio de sua prática, (VILCHES A. et al 2011; MARQUES, C. A 2007).

Nota-se, dessa forma, a relação direta da QV com práticas mais sustentáveis, seja no meio acadêmico ou nos diversos ambientes onde se pratica a química. No meio acadêmico, aplicar conceitos de QV pode auxiliar para um ensino com responsabilidades ambientais, pois no momento em que usa e ensina seus princípios, o professor está abordando a educação ambiental. Acredita-se que ações multiplicadoras podem levar os conceitos de QV muito mais longe, logo conquistar espaços na formação de químicos, principalmente de novos professores de química é fundamental para difusão da QV (COSTA, 2011; MACHADO, 2014).

## **2.2 A Química Verde e o Ensino de Química**

O ensino precisa formar cidadãos críticos, capazes de refletir sobre as diversas situações. Diante disso, Freire (1996) destaca a importância de um educador democrático que não pode negar-se ao dever de, na sua prática docente, reforçar a capacidade crítica do educando.

Os documentos oficiais apontam para a necessidade de um ensino científico voltado à criticidade e a transformação da realidade. A nova Base Nacional Comum Curricular – BNCC deixa claro que

O ensino de ciências da natureza tem um compromisso com o desenvolvimento científico, que envolva a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais da ciência (Brasil, 2017, p. 273).

Chassot (2014), reforça a importância de um ensino voltado para a realidade e destaca que o professor necessita buscar a alfabetização científica do educando, implantando em suas práticas docentes um ensino que contempla aspectos científicos, tecnológicos, sociais e ambientais. Com isso, o ensino de química deve formar cidadãos capazes de criticar práticas tradicionais e, até mesmo mudá-las. Pode-se então afirmar, que o ensino de química não deve ser unidirecional, mas, necessita olhar para o contexto e mostrar os riscos e também os benefícios que a química representa para a sociedade. Percebe-se, diante dessas considerações, que o professor necessita buscar técnicas que consolidem um ensino crítico e voltado à sustentabilidade socioambiental.

Costa (2011) destaca que o ensino de química deve preparar alunos, futuros cidadãos, para compreender, exigir e contribuir para o desenvolvimento sustentável. Logo, isso exige que o professor tenha uma visão crítica acerca da relação da química com o meio ambiente, e os princípios de QV podem contribuir para isso.

Diante disso, a QV vem buscando conquistar seu espaço no ensino de química seja ela no ensino básico como no superior. Zuin (2014) e Sandri (2016) destacam a importância do ensino de QV não ocorrer apenas como uma disciplina que compõe a grade curricular dos cursos superiores, mas sim, que seus princípios sejam difundidos entre todas as áreas de conhecimento da química, bem como, praticado. Em vias de colocar seu ensino em prática, a experimentação mostra-se uma importante e potencial porta de acesso para a inserção dos princípios da QV.

Mansilla (2014) aborda a importância de haver ferramentas, treinamentos e materiais adequados para que os educadores possam integrar adequadamente os princípios da QV. Com isso, as métricas verdes se

destacam para auxiliar na aplicação dos princípios. Diante disso, o próximo tópico explana os conceitos de Métricas Verdes se baseando em estudos realizados ou orientados por Machado (2014) e Sandri (2016).

### **2.3 Análise da Verdura Química – Métricas Verdes**

Atender os princípios da QV, não é tarefa fácil, visto a amplitude que tais princípios abarcam, ou seja, aspectos de periculosidade, degradabilidade, natureza das fontes de obtenção dos reagentes, incorporação de átomos aos produtos, etc. Com isso, Machado (2014) sugere fazer uma análise de verdura química, sendo justamente a avaliação dos processos químicos e se os mesmos atendem critérios ambientais e os princípios da QV. Logo, pesquisadores desenvolveram ferramentas para realizar as análises de verduras, são elas às métricas que permitem avaliar aspectos de verdura química (MACHADO, 2014).

A palavra Métrica pode ser definida como medir, ou seja, algo que se calcula a extensão. Na química essas medidas são feitas em práticas experimentais, como por exemplo, para avaliar o rendimento de uma reação. No entanto, para saber se as mesmas atendem os princípios da QV, são necessárias métricas mais abrangentes e que permitam ir além da visão reducionista da Química convencional.

Para Machado (2014), as métricas verdes podem ser classificadas em métricas de massa, ambientais e holísticas. As métricas de massa atendem principalmente os dois primeiros princípios da QV, prevenção de resíduos e eficiência atômica. As métricas ambientais, citadas por Sandri e Santin Filho (2017), surgem no âmbito da indústria com o objetivo de avaliar os impactos ambientais dos produtos e processos químicos. As holísticas, por sua vez, buscam avaliar o máximo de princípios possíveis e se adequam tanto no âmbito da indústria como acadêmico. Existem quatro tipos de métricas holísticas: quadro verde, círculo verde, estrelas verdes (EV) e matriz verde (MV), organizadas em ordem crescente de detalhamento e complexidade.

A MV, segundo Machado (2014 p.193) é uma análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats) que busca avaliar os princípios e critérios aplicáveis ao experimento. A MV é uma métrica mais completa onde os pontos fortes correspondem aos princípios da QV atingidos e os pontos

fracos correspondem aos princípios da QV não atingidos. Com isso, a MV se destaca entre as métricas, sendo uma das mais completas em questão de análise de verdura química.

Sandri (2016) trabalha com a MV aplicada em procedimentos de cunho didático e propõe critérios de análises que permitem avaliar os pontos fortes e fracos, dando assim mais clareza para a identificação das possibilidades de melhorias e as ameaças inevitáveis, como mostrado no Quadro 2 (apresentado na metodologia).

A EV é uma métrica holística de verdura química que capta informações sobre o cumprimento dos princípios da QV aplicáveis em cada protocolo experimental analisado, apresentando resultados de forma gráfica, o que permite visualizar com facilidade o resultado. A EV é construída por tantas pontas quantos os princípios da QV aplicáveis a cada protocolo experimental, sendo o cumprimento de cada ponta maior quanto melhor for o cumprimento de cada princípio. Os resultados são apresentados graficamente, sendo que a cor verde de cada ponta da EV mostra o grau de cumprimento, classificado de 1 a 3 dos princípios correspondentes. Grau 3 corresponde a todos os princípios atendidos (A ponta é verde); Grau 1 corresponde ao não cumprimento dos princípios (A ponta é vermelha); Grau 2 representa que o princípio foi atendido parcialmente (50% da ponta é verde e 50% da ponta é vermelho). (COSTA, 2011; MACHADO, 2014; DUARTE, 2015).

Com base na qualidade da análise da MV e da facilidade visual e comparativo da EV, considera-se que ambas podem ser aplicadas juntas, para análise de experimentos didáticos, compreendendo assim, uma análise de verdura mais ampla.

Para fazer a avaliação de verdura química de um experimento é necessário antes de tudo, conhecer a prática experimental e ver em qual situação ela se aplica. Nem sempre os 12 princípios poderão ser avaliados. Machado (2014 p. 176) apresenta três situações de práticas experimentais e quais princípios se devem avaliar. São elas: escalamento e desenvolvimento de processos, onde todos os 12 princípios são considerados. Sínteses Laboratoriais, aonde deixa de avaliar os princípios P4 e P5. Finalmente os experimentos sem sínteses (operações não reativas) que avalia os princípios P1, P5, P6, P7, P10 e P12.

Em seguida apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram selecionados experimentos realizados nas aulas de Química Orgânica do curso de licenciatura em Química do Instituto Federal do Paraná, Campus Palmas. São eles: Determinação do Ponto de Fusão (DPF), Determinação do Ponto de Ebulição (DPE) e Recristalização. Os experimentos selecionados foram comparados com as práticas correlatas apresentadas por Pavia, et al (2009). Com esta investigação buscou-se avaliar quais propostas melhor atendem aos princípios da QV, quais pontos podem ser melhorados e, assim, propor sugestões menos impactantes e mais seguras para as atividades laboratoriais dessa instituição.

A análise da verduza química destes experimentos foi realizada através da Matriz Verde (MV) e da Estrela Verde (EV). Para a construção da MV, considerou-se os princípios e os critérios propostos por Sandri (2016), adaptados de Machado e Ribeiro (2016), mostrado no Quadro 2.

**Quadro 2: Critérios para análise da Verduza Química de Experimentos**

| <b>Critérios de Análise (C)</b> |                          | <b>Pontos Fortes</b>  | <b>Pontos Fracos</b>   |
|---------------------------------|--------------------------|---|--|
| Princípio1. Prevenção.          | C1. Riscos físicos.      | Substâncias sem indicação de risco físico.                                      | Substâncias com indicação de riscos físicos (Explosivo – E; Inflamável – F ou F+). |
|                                 | C2. Riscos à saúde.      | Sem indicação de risco à saúde ou risco baixo (Prejudicial – Xn; Irritante-Xi). | Substâncias com indicação de toxicidade (Tóxico – T; Muito Tóxico; Corrosivo (C).  |
|                                 | C3. Riscos ao ambiente.  | Sem indicação de riscos para o ambiente (N).                                    | Substâncias tóxicas ao ambiente (N).   |
|                                 | C4. Geração de resíduos. | Não se formam resíduos ou gera-se resíduos inócuos.                             | São gerados resíduos e estes representam perigos físicos, à saúde ou ao ambiente.  |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| P5- Solventes e outras substâncias e auxiliares. | C5. Consumo de solventes e auxiliares além dos reagentes iniciais.                                      | Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos. | Os solventes e/ou os auxiliares representam perigo moderado ou elevado para a saúde ou ambiente. |
|  | C6. Consumo de água como solvente ou reagente.  | Consumo baixo ( $V \leq 50$ mL).  | Consumo $> 50$ ML.   |
|  | C7. Consumo de água como facilidade (resfriamento/banhos).  | Consumo baixo ( $V \leq 200$ mL).   | Com consumo elevado ( $V > 200$ mL).   |
|  | C8. Consumo de outros solventes além da água.   | Com consumo baixo ( $V \leq 50$ mL).  | Consumo $> 50$ ML.   |
| P6 – Eficiência energética.                      | C9. Consumo de energia.   | Realiza-se a Temperatura e Pressão Ambientais.                              | Realiza-se em temperatura ou pressão diferentes da do ambiente.                                  |
| P7 – Uso de substâncias renováveis.              | C10. Utilização de substâncias renováveis.  | Todos os reagentes são renováveis.  | Pelo menos um dos reagentes não é renovável.   |
| P10 – Planificação para a degradação.            | C11. Uso de produtos degradáveis a produtos inócuos (não considerar a água)                             | Todos os reagentes usados são degradáveis                                   | Pelo menos uma das substâncias não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição    |
|  | C12. Utiliza-se substâncias que podem ser reutilizadas em outras experiências ou recicladas após o uso. | Utiliza-se.   | Não utiliza-se.  |

|                                       |  |  |   |
|---------------------------------------|--|--|---|
| P12 – Química intrinsecamente segura. | C13. Riscos de acidentes devido às substâncias envolvidas.   | No caso de substâncias (Xi, Xn ou sem indicação de riscos).                                    | No caso de substâncias (T, T+, C, O, F, F+).                                      |
|                                       | C14. Devido ao uso de equipamentos (centrífuga; estufa, mantas; evaporador rotativo, bomba de vácuo e banho termostatizado). | Com riscos baixos ou moderados.  | Com riscos elevados.  |
|                                       | C15. Devido ao uso de outros materiais vulgares.   | Com riscos baixos ou moderados (vidrarias comuns, termômetros, densímetros, multímetros, etc). | Com riscos elevados (gás; fogões; bicos de Bunsen; etc); termômetros de mercúrio. |

**Fonte: Sandri (2016, p 223, adaptada pelo autor)**

Na sequência, com base nos critérios elencados no Quadro 2 e utilizando as fichas de informações de produtos químicos (FISPQ) das substâncias utilizadas em cada experimento, realizou-se a análise interna, avaliando os pontos fortes e os pontos fracos de cada experimento, e a análise externa, apontando-se as possibilidades de melhoramento da vertente química indicando-se as ameaças, ou seja, situações que não podem ser evitadas.

Para construção da EV utilizou-se a plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaooverdura> disponível gratuitamente pela Universidade do Porto, em Portugal, a qual permite a inserção dos dados do experimento e constrói automaticamente a EV, um gráfico radial de acordo com o número de princípios considerados. Em situações de experimentos sem sínteses, como é o caso deste trabalho, são analisados apenas 6 princípios da QV, são eles: P1, P5, P6, P7, P10 e o P12. Ressalta-se ainda que para a construção da MV devem ser avaliados os critérios cabíveis ao experimento, sendo estes variáveis de um experimento para outro.

Como a intenção foi comparar protocolos experimentais semelhantes, optou-se em denominar os experimentos do IFPR – Campus Palmas, como

Experimentos A e os propostos por Pavia et al (2009), foram indicados como Experimentos B.

**Quadro 3: Experimentos analisados**

| Experimento | Nomes  |
|-------------|--|
| 1 A         | Determinação do Ponto de Fusão (DPF) – IFPR .                        |
| 1 B         | Determinação do Ponto de Fusão (DPF) – Pavia <i>et al</i> (2009).    |
| 2 A         | Determinação do Ponto de Ebulição (DPE) – IFPR.                      |
| 2 B         | Determinação do Ponto de Ebulição (DPE) – Pavia <i>et al</i> (2009). |
| 3 A         | Recristalização – IFPR.  |
| 3 B         | Recristalização – Pavia <i>et al</i> (2009).                         |

Fonte: Dados da pesquisa

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, nos Quadros 4, 5 e 6, apresenta-se as métricas de verduza química dos experimentos citados no Quadro 3.

Os Quadros 4 e 5 apresentam a MV e EV para os experimentos DPF e DPE. Estes experimentos têm por objetivo determinar as respectivas propriedades físicas dos compostos orgânicos, e relacionar com conceitos como forças intermoleculares e a pureza das substâncias, sendo, portanto, fundamentais para a formação acadêmica.

**Quadro 4: ME e EV do experimento DPF proposta 1A e 1B**

| EXPERIMENTO 1ª  |   |
|---|---|
| Reagentes   | Materiais   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Ácido Benzoico – 0,03g</li> <li>Glicerina 15 mL</li> <li>Ureia – 0,03g</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tubo de Thiele</li> <li>Bico de Bunsen</li> <li>Termômetro</li> <li>Rolha de Cortiça</li> <li>Anéis de Borracha</li> <li>Capilar para determinação de ponto de fusão</li> </ul>  |
| Pontos Fortes   | Pontos Fracos   |
| <p>C1. O ácido benzoico e a ureia não apresentam riscos físicos.</p> <p>C3. O ácido benzoico e a ureia Não apresentam riscos ao ambiente.</p> <p>C5. Não se utiliza solventes e auxiliares.</p> | <p>C2. O ácido benzoico causa riscos à saúde: (H315 - Provoca irritação à pele; H318 - Provoca lesões oculares graves; H372 - Provoca dano aos órgãos)**</p> <p>C4. O ácido benzoico e a ureia tornam-se resíduos.</p> <p>C9. Realiza-se em temperatura diferente do ambiente.</p> <p>C10. O ácido benzoico não é renovável.</p> <p>C12. O ácido benzoico e a ureia não podem ser</p> |

|   |   |
|---|---|
| <p>C7. Não utiliza-se banhos de resfriamento ou aquecimento.<br/>                 C11. As substâncias envolvidas são degradáveis.<br/>                 C14. Não apresenta riscos devido ao uso de equipamentos.</p>   | <p>reutilizados.<br/>                 C13. O ácido benzoico pode causar riscos de acidentes.<br/>                 C15. Usa-se fonte de calor, como bico de Bunsen e termômetro de mercúrio.</p>   |
| <b>Possibilidades</b>   | <b>Ameaças</b>  |
| <p>- Pode-se usar outros reagentes com menor periculosidade, como o ácido acetilsalicílico (AAS), para substituir o ácido benzoico.<br/>                 - Utilizar o fusiômetro (aparelho de ponto de fusão), evitando o uso de chamas.</p>  | <p>- A utilização de aquecimento é inevitável.</p>  |
| <p><b>Critérios Avaliados</b><br/>                 C1, C2, C3, C4, C5, C7, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15<br/>                 (C6/C13)*</p>  |   |
| <b>EXPERIMENTO 1B</b>   |   |
| <b>Reagentes</b>  | <b>Materiais</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido Acetilsalicílico 0,03g</li> <li>• Ácido Benzoico 0,03g</li> <li>• Benzoína 0,03g</li> <li>• Succinamida 0,03g</li> <li>• Glicerina 15 mL.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo de Thiele</li> <li>• Bico de Bunsen</li> <li>• Termômetro</li> <li>• Rolha de Cortiça</li> <li>• Anéis de Borracha</li> <li>• Capilar para determinação de ponto de fusão</li> </ul>  |
| <b>Pontos Fortes</b>  | <b>Pontos Fracos</b>  |
| <p>C1. As substâncias não apresentam riscos físicos.<br/>                 C3. As substâncias envolvidas não apresentam riscos ao ambiente.<br/>                 C5. Não se utiliza solventes e auxiliares.<br/>                 C7. Não utiliza-se banhos de resfriamento ou aquecimento..<br/>                 C11. As substâncias envolvidas são degradáveis.<br/>                 C14. Não apresenta riscos devido ao uso de equipamentos.</p> | <p>C2. O ácido benzoico causa riscos à saúde: (H315 - Provoca irritação à pele; H318 - Provoca lesões oculares graves; H372 - Provoca dano aos órgãos)**.<br/>                 C4. As substâncias utilizadas geram resíduos em maior quantidade que o experimento 1A.<br/>                 C9. Realiza-se em temperaturas diferente do ambiente.<br/>                 C10. Não utiliza-se substâncias renováveis.<br/>                 C12. As substâncias envolvidas não podem ser reutilizadas.</p> |

|  |   |
|--|---|
|  | C13. O ácido benzoico apresenta riscos de acidentes.<br>C15. Usa-se fonte de calor, como bico de Bunsen e termômetro de mercúrio. |
| <b>Possibilidades</b>  | <b>Ameaças</b>  |
| - O experimento pode ser realizado apenas com o ácido Acetilsalicílico.<br>- Substituir o tubo de Thiele por um fusiômetro, assim diminuiria os riscos e necessitaria de menos aquecimento.<br>- Não realizar misturas de substâncias. | - A utilização de aquecimento é inevitável.   |
| <b>Critérios Avaliados</b><br>C1, C2, C3, C4, C5, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15<br>(C6/C13)*  |   |
| <b>Estrela Verde 1A</b>  | <b>Estrela Verde 1B</b>   |
|  |   |

Fonte: Dados da Pesquisa.

*\*Os critérios 6 e 8 não eram aplicáveis a este experimento e, portanto, não foram avaliados.*

*\*\*Os códigos apresentados, são referentes a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ.*

Ao realizar a análise de verificação química do experimento DPF utilizando a MV, foi possível verificar que o experimento 1A e 1B atenderam respectivamente os critérios C1, C3, C5, C7 e C11 e não atenderam os critérios C2, C4, C6, C8, C9, C10, C12, C13, C14 e C15.

Os critérios atendidos na MV (Quadro 4) se dão pelo fato que os experimentos não apresentam riscos físicos e ambientais, não fazem uso de solventes e auxiliares, as substâncias são degradáveis e utilizam equipamentos com riscos moderados. No entanto, ambos os experimentos não atendem os demais critérios vistos no Quadro 2, devido à maioria das substâncias não serem renováveis, o ácido benzoico apresentar riscos a saúde como irritação a pele, ataque ao globo ocular, podendo causar danos aos pulmões e outros órgãos, caso inalado. Ambos os experimentos geram

resíduos que não pode ser reutilizados. Quanto ao uso de aquecimento, este é inevitável, devido à necessidade de elevar a temperatura para a fusão. Entretanto, o experimento 1A se destaca por não utilizar várias substâncias como ocorre no experimento 1B. O Experimento 1A também não sugere a mistura de substâncias para fazer a comparação de uma amostra pura com outra contaminada, aspecto importante, pois assim, diminui a formação de resíduos. O experimento 1B, por sua vez, utiliza várias substâncias com o objetivo de comparar as diferenças de ponto de fusão e indica a mistura das substâncias, o que acarreta na geração de resíduos de diferentes espécies e um processo experimental mais demorado.

Analisando a verduca química do experimento DPF através da EV, foi possível verificar graficamente que ambos os experimentos atenderam os princípios P5 e P10, atenderam parcialmente o P6 e não atenderam o P12. O P1, referente à geração de resíduos, foi atendido parcialmente no experimento 1A e não foi atendido no experimento 1B. O P7 foi atendido totalmente no experimento 1A e não foi atendido no experimento 1B. Avaliação das Estrelas Verdes 1A e 1B, do Quadro 4, mostram que o experimento 1A se destaca gerando menos resíduo e indica o uso de pelo menos uma substância renovável, apresentando desvantagem pelo fato de utilizar ácido benzoico, como mencionado anteriormente.

Como alternativa para ambas as propostas, sugere-se a utilização apenas do ácido acetilsalicílico (AAS), uma vez que este não apresenta riscos físicos, ambientais e para saúde. O ácido acetilsalicílico pode ser proveniente de sínteses orgânicas anteriormente realizadas no laboratório de ensino, ou seja, ao ser reutilizado, evita a formação de resíduos de outros experimentos.

Se a finalidade do experimento for comparar o ponto de fusão de uma amostra pura e outra contaminada, é possível utilizar o AAS antes e após a purificação por recristalização ou mesmo orientar o acadêmico para comparar o ponto de fusão determinado experimentalmente com o encontrado na literatura a fim de fazer inferências sobre a pureza da amostra. Diante disso a mistura de reagentes, proposta em 1B, torna-se desnecessária.

Ressalta-se, que essa possibilidade – o uso do AAS – pode favorecer o desenvolvimento de experimentos investigativos em detrimento de propostas

verificacionistas, nas quais se induz os resultados na tentativa de demonstrar a teoria.

O Quadro 5, traz os resultados da análise de veridicidade química do experimento DPE.

**Quadro 5: MV e EV do experimento DPE proposta 2A e 2B**

| <b>Experimento 2<sup>a</sup></b>  |   |
|---|---|
| <b>Reagentes</b>  | <b>Materiais</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Etanol 0,5 Ml</li> <li>• Glicerina (15mL)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo de Thiele</li> <li>• Bico de Bunsen</li> <li>• Termômetro</li> <li>• Rolha de Cortiça</li> <li>• Anéis de Borracha</li> <li>• Micro-tubo de ensaio</li> </ul>   |
| <b>Pontos Fortes</b>  | <b>Pontos Fracos</b>  |
| <p>C3. Por ser uma quantidade pequena, o etanol não apresenta riscos ao ambiente.</p> <p>C4. Não há geração de resíduo.</p> <p>C5. Não se faz uso de solventes e auxiliares.</p> <p>C7. Não se utiliza banhos de resfriamento ou aquecimento.</p> <p>C10. O etanol é uma substância renovável.</p> <p>C11. O etanol é biodegradável.</p> <p>C12. Tanto o etanol quanto a glicerina podem ser reutilizados em outros experimentos.</p> <p>C14. Não se faz uso de equipamentos perigosos.</p> | <p>C1. O etanol é inflamável, dependendo da quantidade, pode causar danos físicos. (H225 - Líquido e vapores altamente inflamáveis).**</p> <p>C2. O etanol pode causar irritação ao globo ocular. (H319 - Provoca irritação ocular grave).**</p> <p>C9. O experimento requer o uso de aquecimento.</p> <p>C13. Pode haver riscos com as substâncias envolvidas devido a inflamabilidade do etanol.</p> <p>C15. Se faz necessário o uso do bico de Bunsen.</p> |

| Possibilidades  | Ameaças  |
|---|--|
| <p>- Quando utiliza-se substâncias inflamáveis, como o etanol, é importante que não se manuseie próximo a chamas, para evitar acidentes físicos e ambientais.</p> <p>- Como os riscos físicos e a saúde estão relacionados a ataques ao globo ocular, os mesmos podem ser evitados com boas práticas laboratoriais e com a utilização correta dos equipamentos de segurança (EPI), notadamente os óculos.</p> <p>- Pode substituir o aquecimento de chamas por fontes de aquecimento elétricas.</p> | <p>- A utilização de fonte de aquecimento é necessária e não pode ser evitada.</p>   |
| <p><b>Critérios Avaliados</b><br/>C1, C2, C3, C4, C5, C7, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15 (C8/C13)*</p>  |  |
| <p><b>EXPERIMENTO 2B</b></p>  |  |
| Reagentes   | Materiais  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acetona 0,5 mL</li> <li>• Glicerina (15mL)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo de Thiele</li> <li>• Bico de Bunsen</li> <li>• Termômetro</li> <li>• Rolha de Cortiça</li> <li>• Anéis de Borracha</li> <li>• Capilar para determinação de ponto de fusão</li> </ul> |
| Pontos Fortes   | Pontos Fracos  |
| <p>C3. Por ser uma quantidade pequena a acetona não apresenta riscos ao ambiente.</p> <p>C4. Não há geração de</p>  | <p>C1. A acetona apresenta riscos físicos. (H225 - altamente inflamáveis).**</p> <p>C2. A acetona pode causar ataque</p>   |

|  |  |
|--|--|
| <p>resíduos.<br/>                 C5. Não se faz uso de solventes ou auxiliares.<br/>                 C7. Não se utiliza banhos de resfriamento ou aquecimento.<br/>                 C11. A acetona é biodegradável.<br/>                 C12. Tanto a acetona, quanto a glicerina, pode ser reutilizada em outros experimentos.<br/>                 C14. Não se faz uso de equipamentos perigosos.</p> | <p>ao globo ocular e pode causar sonolência e vertigem. (H219 - Provoca irritação ocular grave).**<br/>                 C9. O experimento requer o uso de aquecimento.<br/>                 C10. A acetona é uma substância não renovável.<br/>                 C13. Pode haver riscos com as substâncias envolvidas devido a inflamabilidade da acetona.<br/>                 C15. Se faz necessário o uso do bico de Bunsen.</p> |
| <b>Possibilidades</b>  | <b>Ameaças</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quando se utiliza substâncias inflamáveis, como a acetona, é importante que não se manuseie próximo a chamas.</li> <li>- A substituição da acetona por uma substância renovável como o etanol.</li> <li>- Pode substituir o aquecimento de chamas por fontes de aquecimento elétricas.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- É necessário aquecimento para realizar o experimento.</li> <li>- O etanol sugerido e acetona, são inflamáveis e inevitavelmente representam riscos físicos.</li> </ul>  |
| <p><b>Critérios Avaliados</b><br/>                 C1, C2, C3, C4, C5, C7, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15<br/>                 (C7/C13)*</p>   |  |
| <b>Estrela Verde 2<sup>a</sup></b>   | <b>Estrela Verde 2 B</b>   |
|  |  |

Fonte: Dados da Pesquisa

*\*Os critérios 6 e 8 não eram aplicáveis a este experimento e, portanto, não foram avaliados.*

*\*\*Os códigos apresentados, são referentes a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ.*

Realizando-se a avaliação da verduza química do experimento DPE, utilizando os critérios da MV, verificou-se que o experimento 2A e o experimento 2B atenderam os critérios C3, C4, C5, C7, C11, C12, C14. Ambos não atenderam os critérios C1, C2, C9, C13 e C15. O critério C10 foi atendido pelo experimento 2A e não atendido pelo experimento 2B.

Ambos os experimentos não geram proporções consideráveis de resíduos, o que corresponde a um aspecto positivo para sua execução. O experimento 2A, entretanto, utiliza o etanol, uma substância renovável, degradável e cuja qual, se manuseada corretamente, tem riscos baixos. Já o experimento 2B utiliza a acetona, uma substância não renovável, no entanto também é degradável e se manuseada corretamente, não apresenta altos riscos a saúde e ao ambiente. Para ambos os experimentos é necessário à utilização de aquecimento, devido ser realizado através do método de Siwoloboff (SOUZA, 2014). Entretanto o experimento pode ser realizado com fonte de aquecimento elétrica, substituindo o bico de Bunsen, indicado no roteiro de ambos os experimentos. Isso implica em um experimento intrinsecamente mais seguro no qual o risco é amenizado por eliminar o fator de risco em detrimento de controlar sua exposição.

Comparando os experimentos, percebe-se que o experimento 2A tem maior verduza química, logo é a melhor alternativa. O aspecto favorável deste experimento deve-se ao uso do etanol uma substância renovável, biodegradável, cujos resíduos são mais inócuos, quando comparados à acetona.

Analisando a verduza do experimento DPE através da EV, foi possível verificar graficamente que ambos os experimentos atenderam o P1, P5 e P10, atenderam parcialmente o P6 e não atenderam o P12. O experimento 2A atendeu o P7 enquanto o experimento 2B não atendeu. Com isso, se confirma a análise já realizada com MV, mostrando que o experimento 2A apresenta maior verduza química, portanto é a melhor opção, em termos de verduza química.

O Quadro 6 apresenta a MV e EV para o experimento Recristalização, este experimento tem objetivo de purificar compostos orgânicos. A purificação de substâncias sólidas através de recristalização baseia-se nas diferenças em suas solubilidades em diferentes solventes e no fato de que a maioria das substâncias sólidas é mais solúvel em solventes quentes que em frios (PAVIA et al, 2009).

O experimento permite explorar conceitos como solubilidade, efeitos da temperatura sobre a solubilidade, forças intermoleculares, e técnicas laboratoriais como a filtração a quente e à vácuo, por exemplo. Esse

experimento costuma ser trabalhado como técnica introdutória ao laboratório de Química Orgânica e, posteriormente, nos processos de purificação dos compostos obtidos nas sínteses orgânicas. Diante disso, destaca-se a importância do referido experimento no contexto do ensino de Química Orgânica Experimental e, portanto, da melhoria de sua veredura, pois de acordo com Machado (2014) os processos de work up, ou seja, finalização dos processos de síntese, são os principais responsáveis pela geração de resíduos.

**Quadro 6: MV e EV do experimento de Recristalização - Proposta 3A e 3B**

| <b>EXPERIMENTO 3A</b>  |  |
|--|--|
| <b>Reagentes</b>   | <b>Materiais</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido Salicílico – 2g</li> <li>• Carvão Ativado – 0,10g</li> <li>• Água – 80 mL</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bico de gás</li> <li>• Funil de Buchner</li> <li>• Funil de Vidro</li> <li>• Kitassato</li> <li>• Bequer</li> <li>• Papel Filtro</li> <li>• Bomba a Vácuo</li> </ul>  |
| <b>Pontos Fortes</b>   | <b>Pontos Fracos</b>   |
| <p>C1. As substâncias envolvidas não apresentam riscos físicos.</p> <p>C3. As substâncias envolvidas não apresentam riscos ambientais.</p> <p>C4. O Experimento não gera resíduo.</p> <p>C5. Utiliza-se água como solvente, entretanto a mesma é inócua.</p> <p>C7. O experimento utiliza banho de aquecimento com menos de 200 mL de água.</p> <p>C8. Não se utiliza outros solventes além da água.</p> <p>C11. O ácido salicílico e o carvão ativado, são degradáveis.</p> | <p>C2. O ácido salicílico é nocivo se ingerido e pode causar irritação ao globo ocular. (H302 - Nocivo se ingerido; H318 - Provoca lesões oculares graves).**</p> <p>C6. O experimento utiliza água como solvente em quantidades superiores a 50 mL.</p> <p>C9. O experimento necessita de aquecimento para ser realizado.</p> <p>C10. O ácido salicílico não é renovável.</p> <p>C13. As substâncias envolvidas apresentam riscos de acidentes físicos.</p> <p>C14. Se faz uso de equipamentos perigosos.</p> <p>C15. Utiliza-se bico de gás.</p> |

|   |  |
|---|--|
| C12. O ácido salicílico recristalizado pode ser utilizado em outros experimentos.   |  |
| <b>Possibilidades</b>   | <b>Ameaças</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- É possível fazer a substituição do ácido salicílico pelo ácido acetilsalicílico.</li> <li>- Redução do ácido salicílico para 1g e água para 40 mL, havendo a redução de reagentes.</li> <li>- Podem ser usadas fontes elétricas de calor, tornando mais fácil o manuseio e diminuindo os riscos de acidentes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Não é possível retirar o uso da água e o aquecimento.</li> </ul>  |
| <b>Critérios Avaliados</b>  |  |
| C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15 (C8/C15)*  |  |
| <b>EXPERIMENTO 3B</b>   |  |
| <b>Reagentes</b>  | <b>Materiais</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfanilamida – 0,75g</li> <li>• Álcool etílico – 15 mL</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonte de Aquecimento – placa de aquecimento</li> <li>• Funil de Büchner</li> <li>• Funil de vidro</li> <li>• Kitassato</li> <li>• Bequer</li> <li>• Erlenmeyer</li> <li>• Papel Filtro</li> <li>• Bomba a Vácuo</li> </ul>  |
| <b>Pontos Fortes</b>  | <b>Pontos Fracos</b>   |
| <p>C3. Não apresenta riscos ao ambiente.</p> <p>C5. Não consome solventes e auxiliares.</p> <p>C6. O experimento não utiliza água como solvente ou reagente.</p> <p>C7. O experimento indica banho de resfriamento com menos de 200 mL de</p>   | <p>C1. O álcool etílico apresenta riscos físicos. (H225 - altamente inflamáveis).**</p> <p>C2. O álcool etílico pode causar irritação ao globo ocular. (H319 - Provoca irritação ocular grave).**</p> <p>C4. O álcool etílico se torna resíduo.</p> <p>C9. Utiliza-se aquecimento.</p> <p>C10. A sulfanilamida não é renovável.</p> <p>C11. A Sulfanilamida não é degradável.</p> <p>C13. Apresentam riscos de acidentes devido o álcool etílico ser inflamável.</p> |

|  |  |
|--|--|
| <p>água.<br/>C8. Não consome solventes auxiliares.<br/>C12. As substâncias utilizadas no experimento podem ser reutilizadas.</p>   | <p>C14. Se faz uso de equipamentos perigosos.<br/>C15. Utiliza-se fontes de aquecimento.</p> |
| <b>Possibilidades</b>  | <b>Ameaças</b>   |
| <p>- Uma boa prática laboratorial é fundamental, pois se devem usar todos os EPI, evitando possíveis acidentes.<br/>- Outros solventes poderiam ser mais nocivos ao ambiente, portanto, a utilização do álcool etílico é mais indicada.<br/>- A substituição da sulfanilamida por outra substância renovável e degradável.</p> | <p>- A utilização de aquecimento é inevitável.</p>   |
| <p><b>Critérios Avaliados</b><br/>C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15<br/>(C6/C15)*</p>   |  |
| <b>Estrela Verde 3ª</b>  | <b>Estrela Verde 3B</b>  |
|  |  |

**Fonte: Dados da Pesquisa**

*\*Para este experimento foi avaliado os 15 critérios.*

*\*\*Os códigos apresentados, são referentes a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ.*

Realizando a avaliação de verduza química do experimento Recristalização, utilizando os critérios da MV, foi possível verificar que o experimento 3 A, atendeu os critérios C1, C3, C4, C5, C7, C8, C11 e C12, não atendendo os critérios C2, C6, C9, C10, C13, C14 e C15. Já o experimento 3B atendeu os

critérios C3, C5, C6, C7, C8, e C12, não atendendo os critérios C1, C2, C4, C9, C10, C11, C13, C14 e C15.

O experimento 3A apresenta como aspecto positivo a utilização de água como solvente, ou seja, um solvente inócuo, no entanto, a utilização do ácido salicílico apresenta riscos, pois este é nocivo se ingerido e causa danos ao globo ocular, não é renovável, o que também acarreta em ponto negativo. O experimento 3B realiza a recristalização da sulfanilamida, uma substância que não apresenta riscos físicos, à saúde ou ao ambiente, no entanto a mesma substância não é renovável e não é biodegradável. O experimento também sugere a utilização do álcool etílico como solvente e mesmo este sendo uma substância renovável e biodegradável, apresenta riscos de inflamabilidade e dá origem a resíduos. Ambos os experimentos resultam nas substâncias iniciais recristalizadas, as quais podem ser reutilizadas em outros experimentos, evitando a formação de resíduos, algo benéfico do ponto de vista da verdura química. Para realização dos experimentos, a utilização de aquecimento é inevitável, no entanto indica-se a utilização de fontes de calor elétrica, assim diminui os riscos de acidentes. Com esta análise o experimento 3A apresentou maior verdura química.

Ainda é possível realizar o experimento 3A diminuindo a quantidade de ácido salicílico para 1g e a água para 40 mL, com isso o experimento atenderia os critérios de análises utilizados pela MV, tendo a mesma qualidade experimental. A segunda sugestão é realizar o experimento utilizando o ácido acetilsalicílico, o mesmo pode ser proveniente de outras sínteses, não apresenta riscos elevados, é degradável e se obtém o mesmo resultado, entretanto, para a cristalização do ácido acetilsalicílico é necessário à utilização de um solvente orgânico, o etanol.

Analisando a verdura do experimento Recristalização através da EV, foi possível verificar graficamente que ambos os experimentos atenderam os princípios P1 e P5, atenderam parcialmente o P6 e P7 e não atenderam o P12. O experimento 3A atendeu completamente o P10, referente à degradação, já o experimento 3B atendeu parcialmente o mesmo princípio. Destaca-se que na EV, a análise mostra o experimento 3A sendo a melhor alternativa.

Para ambas as análises, é importante ressaltar que a MV é bastante precisa, mostrando cada detalhe do experimento. Em um primeiro momento, ela explana todos os possíveis problemas e em seguida permite vislumbrar as possibilidades de melhorias. Essa métrica também aponta as ameaças, mas tem como possível desvantagem o fato de ser mais trabalhosa que a EV. Esta, por sua vez, se destaca no quesito visual e na praticidade de sua construção, sendo obtida com certa rapidez na plataforma educa (<http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura>) a qual é de livre acesso. Suas limitações residem no fato de não considerar as quantidades de cada substância para dar o resultado final e não se deter a detalhes que potencialmente podem prejudicar a verdura química do processo em análise.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo possibilitou avaliar a verdura química dos experimentos de DPF, DPE e de recristalização, normalmente realizados em cursos de licenciatura em Química, propostos por Pavia, et al (2009) e comparar com os protocolos desenvolvidos no curso de licenciatura em Química do IFPR. Após a análise detalhada dos protocolos experimentais pela MV e EV, pôde-se concluir que as técnicas realizadas no IFPR apresentam maior índice de verdura. Para a DPF, o protocolo 1A mostra uma maior verdura química em função da utilização de poucos reagentes e pela formação de frações muito pequenas de resíduos, diminuindo consideravelmente riscos à saúde e ao meio ambiente. Em contrapartida o protocolo 1B, indica o uso de uma variedade maior de reagentes. Importante ressaltar que a MV permitiu vislumbrar como possibilidade de melhoria de verdura experimental, o uso de ácido acetilsalicílico para a determinação do ponto de fusão, corroborando no reaproveitamento de materiais oriundos de outras atividades experimentais. Para DPE, a técnica 2A se apresenta como melhor alternativa, pois utiliza etanol, um reagente renovável, de fácil degradação, com formação de resíduos em pequena quantidade. Já o experimento 2B, orienta a utilização de acetona, substância não renovável. Para a técnica de recristalização, o experimento 3A apresenta menos riscos que o experimento 3B, pois, atende aspectos positivos quanto a utilização solvente inócuo no processo de recristalização. Além disso, a MV permitiu propor a redução da quantidade dos reagentes para realização da técnica de purificação por recristalização.

Ressaltamos que os experimentos 1A, 1B, 3A e 3B, podem ser realizados com o ácido acetilsalicílico, que apesar de não ser renovável, apresenta baixíssimos riscos e pode ser reutilizável.

Os resultados deste trabalho mostram que as métricas verdes são uma importante ferramenta para o professor inserir a QV em suas aulas e, a partir da avaliação dos riscos que o experimento apresenta, propor práticas alternativas menos impactantes, o que contribui com o aprendizado do acadêmico, sua conscientização ambiental, ética e profissional, bem como para todo o ambiente. Destaca-se, que várias métricas são apresentadas na literatura, no entanto, a MV e a EV tem se mostrado bastante práticas e eficazes, principalmente quando utilizadas em conjunto, uma vez que a MV é uma análise qualitativa, bastante detalhista, mostrando interna e externamente o experimento, tornando possível mexer no procedimento experimental dando-lhe possibilidades de melhorias, enquanto a EV, por ser uma métrica semi-quantitativa com resultados gráficos, permite a visualização e a comparação rápida da verdura entre os procedimentos experimentais. Ambas podem ser realizadas a priori, ou seja, antes da realização do experimento, o que permite comparar, escolher e melhorá-lo antes mesmo da sua execução.

Dessa forma, a QV se mostra como crítica aos processos tradicionais da química, bem como, peça fundamental para melhora-los. Portanto, destaca-se a importância da disseminação dos princípios da QV em todo o ensino de química, por meio de pressupostos teóricos e práticos, pois se queremos químicos verdes, devemos forma-los sob essa perspectiva, ou seja, químicos atentos aos desafios da sustentabilidade, responsáveis, éticos e capazes de rever e reorientar suas atividades, no âmbito da química.

## REFERÊNCIAS

ANASTAS, P.T.; WARNER, J.C. Green Chemistry: theory and Practice. New York: Oxford University Press, 1998. (Tradução Propria).

ANASTAS, P.T. KIRCHHOFF, M.M. Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. Acc. Chem. Res. Vol.35, n.9, p. 686-694, jun./ 2002. (Tradução própria).

BRANDÃO, A. Talidomida: Descoberta, Possibilidades, Polêmicas, Cautela. P. 15 – 18. Pharmacia Brasileira - Julho/Agosto 2010. Disponível em: [http://www.cff.org.br/sistemas/geral/revista/pdf/127/015a018\\_talidomida.pdf](http://www.cff.org.br/sistemas/geral/revista/pdf/127/015a018_talidomida.pdf).

BRASIL/MEC. Base Nacional Comum Curricular. Brasília – 2017. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_publicacao.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_publicacao.pdf).

CARSON, R. Silent Spring. Copyright, 1962. Tradução: POLILLO, R.

CHASSOT, A. Alfabetização Científica: questões e deságios para a educação. 7 ed. Unijuí, 2016.

COSTA, D A. Métricas de avaliação da química verde – aplicação no ensino secundário. Universidade do Porto, 2011. Disponível em: <http://educa.fc.up.pt/v2/ficheiros/investigacao/61/VER%20TESE%20de%20Dominique%20A.%20Costa.pdf>.

DENNIS, L. et al. Green Chemistry and Education. JChem. Vol 77. No 12 december 2000.

DUARTE, R.C.C.; RIBEIRO, G.T.C.; MACHADO, A. A.S.C. Avaliação da Verdura de Atividades Laboratoriais de Sínteses de Química no Ensino Superior em Portugal. Sociedade Portuguesa de Química, jul-Set./2015. Disponível em: <http://www.spq.pt/magazines/BSPQ/670/article/30001990/pdf>.

FREIRE, P. Pedagogia da autonomia. Saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz Terra, 1996.

IFPR. Material Didático de Química Orgânica. Não Publicado, 2014.

LEFF, E. Saber Ambiental: Sustentabilidade, Racionalidade, Complexidade, Poder. 9ª ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

MACHADO, A.A.S.C. Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica. 1 ed. Florianópolis: UFSC, 2014.

\_\_\_\_\_. Métricas da Química Verde – A Produtividade Atômica. SPQ. Sociedade Portuguesa de Química. n. 7. p. 107.

MANSILLA, D S. MUSCIA, G C. UGLIAROLO, E A. Una Fundamentación Para la Incorporación de la Química Verde en los Currículos de Química Orgânica. Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

PAVIA, D L. et al. Química Orgânica Experimental: técnicas de escala pequena. Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SANDRI, M C M. Contribuição da Inserção do Enfoque CTSA e da Química Verde na Formação de Licenciados em Química. (Tese de doutoramento ainda não publicado). 2016.

SANDRI, M C M; SANTIN FILHO. Análise da Verdura Química de Experimentos Propostos para o Ensino Médio. Actio: Docência em Ciências. v. 2, n. 2, p. 97-118, Curitiba - jul./set. 2017.

SOLOMONS, T W G; FRUHLE, C B. Química Orgânica, 7ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. Rio de Janeiro, 2001.

SOUZA, N A. Resgatando um Método Eficiente para Determinação do Ponto de Ebulição de Substâncias Orgânicas: Percolador Versus Siwoloboff. Quim. Nova, Vol. 37, No. 5, 915-918, 2014.

TUNDO, P. et al. Synthetic pathways and processes in green chemistry. Introductory overview. Pure Appl. Chem., Vol. 72, n. 7, pp. 1207–1228, 2000. (tradução própria).

VILCHES, A; GIL PÉREZ, D. Papel de la Química y su enseñanza em la construcción de um futuro sostenible. Educación Química. En línea, p. 2-15, 2011.

ZUIN, V.G. et al., Desenvolvimento Sustentável, Química Verde e Educação Ambiental: o que revelam as publicações da SBQ. Revista Brasileira de Ensino de Química, V. 10, n.1, p. 79-90; Jan./Jun. 2015.