

## **Cromatografia com materiais alternativos e análise de sua sustentabilidade através da estrela verde**

### **Chromatography with alternative materials and analysis of their sustainability through the green star**

#### **Resumo**

Desenvolveu-se uma proposta experimental com a temática de cromatografia com o uso de materiais alternativos, avaliando os procedimentos por intermédio da métrica holística da estrela verde, com o intuito de verificar a validade da substituição de materiais e gasto de solventes nocivos usados anteriormente. Foi possível estimar o quanto essas alterações realizadas são significativas em termos de impacto ambiental e o índice de verdures dos experimentos. Os discentes tiveram aulas introdutórias do tema ao longo do período de 2022.1, e uma aula prática de cromatografia com materiais alternativos, com duração de quatro horas, onde algumas questões foram trabalhadas de modo a entender como o conhecimento em Química Verde foi concebido no percurso formativo de cada participante. Esse trabalho permitiu que os alunos se envolvessem com a análise proposta, estimulando um olhar mais crítico dos discentes com relação às práticas no decorrer do seu curso em relação aos problemas ambientais. Trabalhar ideais verdes para a sustentabilidade é um desafio, seja pela complexidade em formar profissionais capacitados ou pela ausência desses ideais em espaços de educação em química.

**Palavras chave: cromatografia, materiais alternativos, estrela verde, métricas holísticas**

#### **Abstract**

An experimental proposal was developed with the theme of chromatography with the use of alternative materials, evaluating the procedures through the holistic metric of the green star, in order to verify the validity of the substitution of materials and expenditure of previously used harmful solvents. It was possible to estimate how significant these changes are in terms of environmental impact and the summer index of the experiments. The students had introductory classes on the subject throughout the period of 2022.1, and a practical chromatography class with alternative materials, lasting four hours, where some questions were worked in order to understand how knowledge in Green Chemistry was conceived in the formative course of each participant. This work allowed the students to get involved with the proposed analysis, stimulating a more critical view of the students in relation to the practices

during their course in relation to environmental problems. Working green ideals for sustainability is a challenge, either because of the complexity of training trained professionals or absence of these ideals in chemistry education spaces.

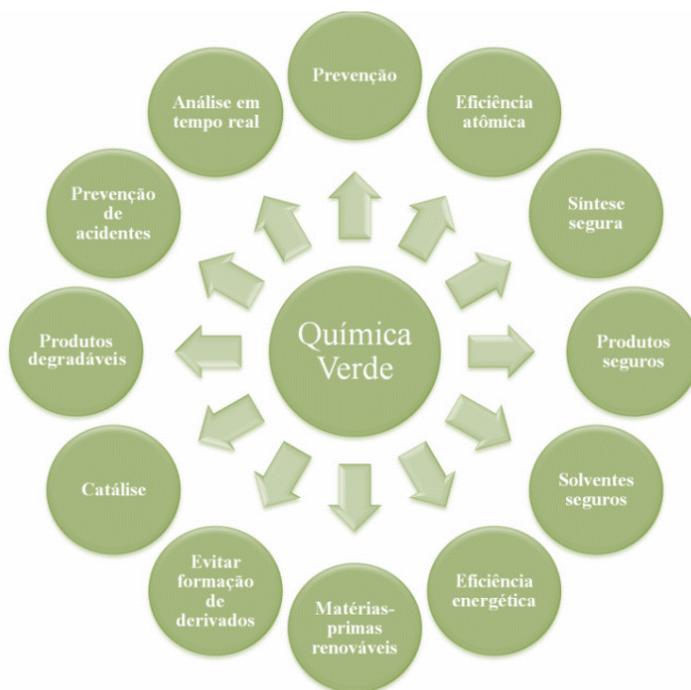
**Key words: chromatography, alternative materials, green star, holistic metrics**

## Introdução

Compreende-se como sustentabilidade socioambiental aquela concretizada no momento em que a sociedade consegue conservar o estoque de capital natural ou compensá-lo, reduzindo sua saturação no presente e no futuro (ZUIN, 2011). Seguindo esse paradigma de repensar o empreendimento técnico científico, os programas de pesquisa no campo da química e áreas relacionadas têm procurado metodologias, meios de obtenção e uso de produtos que sejam considerados menos impactantes e inofensivos à saúde humana e ao ambiente (ANASTAS, WARNER, 1998).

A Química Verde começou a ser introduzida no final dos anos noventa do século passado e difundida de maneira pronunciada desde então (CORREA, ZUIN, 2009). Existem 12 princípios que devem ser levados em consideração quando se pretende colocar em prática essa filosofia (Figura 1).

**Figura 1.** Doze tópicos da Química Verde



Fonte: Elaborado pelos autores

Os princípios da Química Verde podem parecer, em um primeiro momento, muito distantes da realidade. Porém, hoje, observa-se que há um grande esforço da parte de pesquisadores acadêmicos e industriais para uma mudança de comportamento. Para que os objetivos da Química Verde sejam atingidos bastam, além do conhecimento químico, recursos para as atividades de pesquisa científica e inovação tecnológica e ainda incentivos governamentais para as empresas.

A Química verde ainda é um enorme desafio para aqueles que procuram aplicar os seus princípios, seja na indústria, educação ou pesquisa. Os desafios trazidos por essa prática criaram grandes oportunidades para a descoberta e aplicações de novas tecnologias químicas, para a melhoria das condições ambientais do planeta e para retirar o estigma que a química possui de estar relacionada a processos poluentes.

Mesmo com o crescente número de trabalhos científicos acerca da Química Verde, ainda são poucas as aulas que são desenvolvidas ou adaptadas com o objetivo de contemplá-la no ensino médio e na graduação e escassas são as pesquisas na área de ensino de química que possuam como objetivo de investigação a inclusão da Química Verde no processo educacional (ALMEIDA ET AL, 2019; CUNHA, SANTANA, 2012).

O planejamento de aulas práticas nos cursos de nível básico e superior, devem conter experimentos embasados nos princípios da Química Verde, que inclui a utilização de materiais de partida atóxicos e oriundos de fontes renováveis, além da escolha apropriada das condições reacionais e da readequação das etapas de tratamento e purificação com o objetivo de diminuir a geração de resíduos prejudiciais ao meio ambiente.

Certos trabalhos conseguem ir além da descrição de um roteiro experimental verde, não desconsiderando sua importância, desde que os conteúdos sejam abordados em uma

perspectiva epistemológica mais atual, caminhando de acordo com as pesquisas recentes da área de Educação e Ensino de Ciências no que diz respeito à experimentação (ARAGÃO, VELOSO, ANDRADE, 2009).

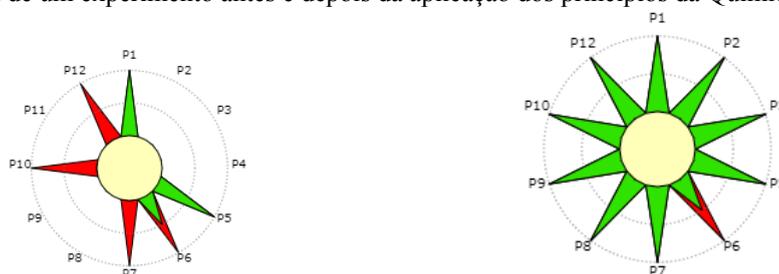
Acerca de todos os problemas ambientais e socioeconômicos da atualidade, introduzir os princípios da Química Verde por meio da reflexão através do conceito de sustentabilidade e do desenvolvimento de tecnologias e processos incapazes de causar poluição, e que, idealmente pelas instituições de ensino, evitará a necessidade de remediação de compartimentos ambientais impactados, cumprindo um importante papel formativo, além de contemplar estudos no escopo da química e da própria Química Verde (SOUZA, MARQUES, MATTOS, 2012). Ter uma visão da química que integre os conteúdos da disciplina com os de outras áreas do conhecimento é muito importante para que os educandos possam identificar, enfrentar e se posicionar frente às questões ambientais (MARQUES, 2012; MAXIMIANO, 2009). Zuin e autores (2021) destacam a importância da Química Verde 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 e que os mesmos sejam praticados. É de grande importância haver ferramentas, treinamentos e materiais adequados para que os educadores possam ensinar de forma efetiva os princípios da Química Verde. As métricas então, surgem como grandes auxiliadoras na aplicação dos princípios envolvidos (MANSILLA, 2014).

Os princípios da Química Verde podem ser atendidos ou não em um experimento químico, e para a verificação de que esses princípios estejam sendo cumpridos, precisa-se levar em consideração aspectos como periculosidade, incorporação de átomos dos reagentes aos produtos alvo, degradabilidade das substâncias envolvidas, natureza das fontes utilizadas etc. Machado (2014) sugere fazer uma análise de verdura química, avaliando os processos químicos e se eles atendem critérios ambientais e os princípios da Química Verde, não só levando em conta aspectos teóricos. O autor sugere ainda que os pesquisadores devem então desenvolver ferramentas para realizar as análises de verduras, e essas análises são as chamadas métricas. Na química para saber se práticas experimentais atendem os princípios da Química Verde, são necessárias métricas mais abrangentes e que permitam ir além da visão reducionista da Química convencional.

As métricas verdes são classificadas em métricas ambientais, de massa e holísticas. As métricas de massa atendem principalmente os dois primeiros princípios da Química Verde, prevenção de resíduos e eficiência atômica; as métricas ambientais têm como objetivo a avaliação dos impactos ambientais dos produtos e processos químicos no âmbito da indústria (SANDRI E SANTIN FILHO, 2019), já as métricas holísticas buscam avaliar o máximo de princípios possíveis e verificar se os mesmos se adequam tanto no âmbito da indústria como no meio 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 métrica holística que será utilizada neste trabalho é a Estrela Verde (EV). Ela considera os mesmos princípios e critérios da Química Verde, porém como tem uma natureza gráfica (Figura 2), ela permite comparações visuais bem nítidas. Essa métrica é constituída por uma estrela com o número de pontas necessárias, de acordo com o número de princípios da Química Verde analisados em um determinado experimento (MACHADO 2014, DUARTE, RIBEIRO E MACHADO, 2015).

**Figura 2:** Estrelas Verdes para um experimento hipotético possibilitando um comparativo visual da verdura de um experimento antes e depois da aplicação dos princípios da Química Verde.



Fonte: Elaborado pelos autores no portal [www.educa.fc.up.pt](http://www.educa.fc.up.pt)

A construção da EV considera pontuações a partir de critérios pré-estabelecidos, podendo ser pontuados de 1 (um) a 3 (três), onde 1 é a ausência de verdura química; 2 uma verdura química parcial e 3, plenamente verde. O IPE é calculado a partir da razão [(área da estrela/área verde da estrela de verdura máxima) \* 100], onde IPE = 100 representa verdura máxima e o IPE = 0 representa verdura mínima (RIBEIRO, COSTA E MACHADO, 2010). Para sua construção utiliza-se a plataforma *on line* disponível em [www.educa.fc.up.pt](http://www.educa.fc.up.pt), permitindo uma análise rápida e fácil partindo das informações que o pesquisador, professor ou estudante coloque nessa plataforma acerca do experimento que se deseja analisar (MACHADO, 2014).

A cromatografia é o processo físico-químico de separação de uma mistura baseado na distribuição dos componentes a partir das interações intermoleculares que há entre os componentes da mistura e as duas fases cromatográficas: estacionária e móvel. Essa temática é muito pertinente tanto no ensino básico quanto no ensino superior, com as devidas adaptações para cada nível de ensino. Ela nos permite a abordagem dos conceitos de polaridade, solubilidade, separação de misturas, estrutura dos compostos químicos e suas interações.

A separação por cromatografia utilizando materiais alternativos e de fácil acesso, seguido da construção da estrela verde (EV) pelos discentes, pode permitir a condução de um experimento mais sustentável. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo gerar reflexões sobre a inversão dos conceitos da Química Verde em uma determinada instituição de ensino, buscando orientar o ensino de Química em prol da educação para desenvolvimento sustentável e buscando compreender os impactos de atividades experimentais mais verdes no ensino médio-técnico.

## Percurso Metodológico

Os estudos relacionados à inserção da Química Verde através da cromatografia alternativa no ensino básico ocorreram no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) *campus* Duque de Caxias. As atividades experimentais foram conduzidas em 2022.1 (abril a agosto) para esta pesquisa em uma turma do curso de Química integrados ao Ensino Médio com 18 participantes com idades que variam de 16 a 19 anos.

A pesquisa foi conduzida de modo qualitativo, onde foram analisados relatos relevantes e, a partir destes, levantadas as discussões pertinentes ao objetivo deste trabalho. A pesquisa qualitativa define a ciência como saber resultante das interações sociais no contexto sociocultural que as cercam. O objetivo dessa abordagem é compreender o significado dos fenômenos a partir de quem os vivencia. Compreende, portanto, que a ciência é uma área de conhecimento produzida por seres humanos que significam o mundo e seus fenômenos (MÓL, 2017). Deste modo, a abordagem qualitativa oferece condições à pesquisa para compreender, decodificar, explicar e enfatizar a multiplicidade do campo educativo, por meio do contato direto com a situação investigada (LÜDKE E ANDRÉ, 1986).

Em termos do grau de correlação da química verde à educação para o desenvolvimento sustentável, o modelo utilizado discute a QV através de métricas, avaliando sistematicamente a veracidade dos experimentos propostos, envolvendo os alunos em uma discussão sobre aspectos econômicos e ecológicos das métricas e seus princípios.

Os discentes tiveram aulas introdutórias do tema ao longo do período de 2022 (abril a agosto), totalizando 20h de estudo sobre a temática e ainda, um momento de aula prática de cromatografia de materiais alternativos, com duração de quatro horas. Algumas questões foram trabalhadas de modo a entender como o conhecimento em QV foi concebido e, possivelmente, identificado no percurso formativo de cada participante – além de estudar suas opiniões sobre a importância dessa filosofia para o futuro profissional, ambiental e humano.

Sem avaliação do grau de veracidade, os objetivos teóricos da QV podem divergir da realidade prática, onde variáveis inerentes às transformações da matéria influenciam o resultado. Portanto, métricas foram criadas para representar – globalmente – aspectos multivariados de qualquer análise de veracidade (MACHADO, 2015). A Estrela Verde (EV) pode ser utilizada para experimentos com ou sem síntese envolvida e a estrela de 6 pontas, realizada em nosso trabalho é concebida para processos de purificação e separação de compostos.

Na parte experimental da aula, os alunos foram separados em 6 grupos e executaram as seguintes cromatografias alternativas: cromatografia em papel do boldo do chile, cromatografia em coluna do hibisco vermelho utilizando açúcar como fase estacionária e a cromatografia em giz com extratos de cenoura, beterraba e espinafre.

Cada grupo ficou responsável pela construção da EV de uma das cromatografias alternativas realizadas anteriormente. Para isso, eles seguiram os seguintes passos listados a seguir: examinar todas as substâncias envolvidas e as condições da realização do experimento, conhecer as quantidades de cada reagente, buscar informações sobre as substâncias envolvidas na ficha de informação e segurança dos produtos químicos (FISPQ), verificar as informações acerca da renovabilidade e degradação dos reagentes e produtos formados e por fim alimentar com os dados recolhidos a planilha disponível em [www.educa.fc.up.pt](http://www.educa.fc.up.pt) para a construção da EV.

Os integrantes de cada grupo discutiram com o professor e os alunos monitores, coautores desse trabalho, sobre seus resultados e tiveram a oportunidade de observar e discutir os resultados obtidos para outros experimentos, elaborados por outro grupo. Para cada experimento da aula prática foi selecionada uma EV, levando-se em consideração que muitas delas tiveram semelhanças na sua construção pelos alunos participantes.

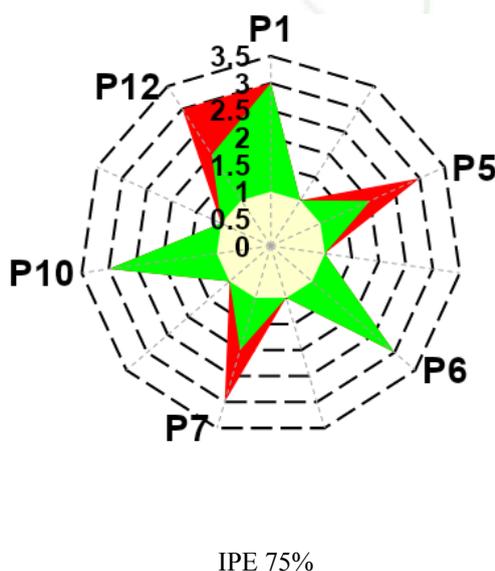
## Resultados e Discussão

A cromatografia em papel ocorre de forma semelhante à cromatografia em camada fina, contudo, sem os malefícios oriundos da placa de sílica, uma vez que, como fase estacionária, utiliza-se o papel, material renovável, biodegradável e inócuo.

Para realizar o experimento foram utilizados papel de filtro cortado em retângulos, folhas de boldo maceradas com auxílio de álcool etílico, além de um capilar para auxiliar na aplicação da amostra e hexano ou acetona comercial como possibilidades de fase móvel. As clorofilas a e b e beta carotenos encontrados no boldo do chile foram separados pela técnica.

A EV obtida para essa separação cromatográfica possui um índice de preenchimento da estrela (IPE) de 75%. O princípio P1 que se refere aos resíduos formados é atendido totalmente, onde eles são inócuos ao meio ambiente. O princípio P6 possui pontuação máxima na estrela, pois o experimento é conduzido em temperatura ambiente e o princípio P10 também é totalmente atendido, pois as substâncias envolvidas podem ser degradadas em produtos inofensivos. Os princípios P5, P7 e P12 são atendidos parcialmente devido ao uso de hexano e acetona comercial na fase móvel, seus perigos a saúde humana e não serem oriundos de fontes renováveis (Figura 3).

**Figura 3.** Estrela Verde construída pelos alunos para o experimento da cromatografia em papel com boldo do chile

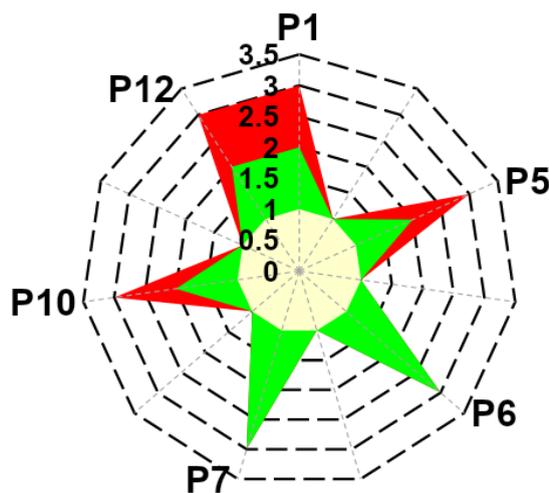


Fonte: Elaborado pelos autores e alunos na planilha disponível em [www.educa.fc.up.pt](http://www.educa.fc.up.pt)

Na cromatografia em giz, utilizou o mesmo como fase estacionária. O giz é formado por uma mistura de  $\text{CaSO}_4$  e  $\text{CaCO}_3$ , e após o uso para cromatografia dos extratos da cenoura, beterraba e espinafre em álcool etílico, podem ser reutilizados ainda para escrita antes de serem descartados. Novamente nesta cromatografia foi possível observar a separação da clorofila e do beta caroteno presente nas substâncias envolvidas no processo.

A EV obtida para essa separação cromatográfica possui um índice de preenchimento da estrela (IPE) em torno de 66%. Onde os princípios P6 que trata da eficiência energética é atendido totalmente, assim como o P7, devido a renovabilidade dos materiais usados. Já os princípios P1, P5, P10 e P12 são atendidos parcialmente devido as substâncias formadoras do giz e o uso do álcool etílico como fase móvel, apresentarem perigo moderado à saúde (Figura 4).

**Figura 4:** Estrela Verde construída pelos alunos para o experimento da cromatografia em giz dos extratos da cenoura, beterraba e espinafre

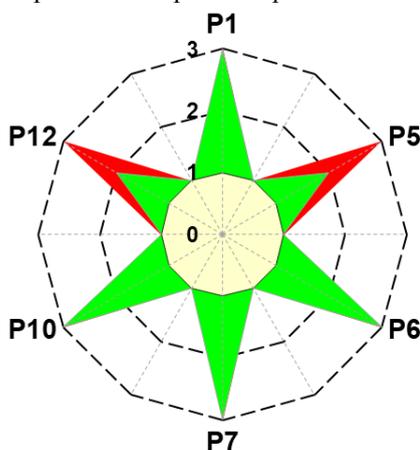


IPE 66,67%

Fonte: Elaborado pelos autores e alunos na planilha disponível em [www.educa.fc.up.pt](http://www.educa.fc.up.pt)

Por fim, no experimento da cromatografia em açúcar com as folhas do hibisco vermelho, os alunos observaram a separação das flavonas e antocianinas presentes no material usado para separação. A EV obtida nesse experimento possui um índice de verdura de aproximadamente 84%. Os princípios P5 e P12 são atendidos parcialmente devido ao uso dos eluentes para essa prática terem sido uma mistura de hexano e acetato de etila, possuindo risco moderado à saúde (Figura 5).

**Figura 5:** Estrela Verde construída pelos alunos para o experimento da cromatografia em açúcar.



IPE 84,33%

Fonte: Elaborado pelos autores e alunos na planilha disponível em [www.educa.fc.up.pt](http://www.educa.fc.up.pt)

Algumas ameaças encontradas na análise das cromatografias alternativas propostas são inevitáveis, já que as fases moveis usadas são eluentes embora possuam perigo moderado, não podem ser modificados, para que tenhamos os resultados esperados nas separações dos compostos químicos. Porém é importante ressaltar que a quantidade utilizada é muito pequena e quando comparada com a cromatografia tradicional, os experimentos propostos são mais sustentáveis, substituindo principalmente a sílica, um pó fino e tóxico associada à ocorrência de silicose, doença pulmonar obstrutiva crônica, câncer de pulmão, insuficiência renal e aumento do risco de tuberculose pulmonar e de doenças do colágeno (FILHO, SANTOS, 2006).

Algumas indagações foram feitas de forma oral para os discentes envolvidos nesse trabalho. Quando perguntados se as práticas foram relevantes para as disciplinas de química, todos os alunos mencionaram que estavam surpresos que essa prática poderia ser elaborada de outra maneira, aplicando a Química Verde. Esse resultado sugere que a maioria dos alunos veem as atividades experimentais de química como mera reprodução de um roteiro, em consonância com a teoria aprendida em sala de aula, sem espaço para reflexão do impacto dessa atividade à saúde humana e ao ambiente.

Um outro questionamento foi: “Com as práticas de Química Verde pode-se ampliar seus conhecimentos acerca das questões ambientais? As respostas obtidas foram: “Nos conscientizou sobre os impactos causados pela química no meio ambiente e ensinou novas maneiras de realizar algumas práticas, sendo menos prejudicial”, ou ainda, “Abordando práticas com os tópicos da Química Verde inseridos que nos atentam às questões acerca da preservação do meio ambiente” e uma minoria não soube responder. Esses resultados sugerem o potencial dos ideais verdes em pavimentar o futuro para uma atividade química mais limpa. Mesmo que alguns alunos não consigam argumentar, a maioria consegue reconhecer que experimentos mais verdes impactam menos o ambiente.

Quando perguntados se haviam observado os princípios da Química Verde explicados no decorrer do período letivo de 2022.1 em sala de aula sendo executados nos experimentos, todos responderam que sim. Esse reconhecimento dos princípios é um legado importante desse primeiro momento, pois reforça que trabalhos como esse dissemina ideais verdes. Mesmo que limitado à teoria, não tendo tanto impacto na prática profissional dos participantes, essa abordagem se mostra eficiente para promoção da química verde.

E por fim, foi indagado aos alunos o seguinte questionamento: “Você consegue ver a Química Verde em algum experimento que já tenha feito ao longo de sua vida acadêmica?” Todos responderam que não. Aqui podemos observar que um pequeno experimento impactou os participantes, de modo que eles puderam refletir algum princípio da QV ao longo de suas trajetórias e que novas iniciativas como essa precisam ser executadas até mesmo na avaliação de práticas antigas, cotidianamente replicadas.

## Conclusão

Aplicando o modelo de abordagem utilizando a estrela verde descrito em nosso trabalho, permitiu-se que os alunos se envolvessem com tal análise, tendo um papel de protagonismo, estimulando um olhar mais crítico dos discentes com relação às práticas no decorrer do seu curso. Trabalhar a filosofia verde no contexto acadêmico é crucial para a formação de futuros profissionais comprometidos com a sustentabilidade de suas atividades em qualquer área de conhecimento.

Podemos afirmar que iniciativa proposta promoveu durante todo o período de 2022.1 o contato da turma com a Química Verde e propostas como essas tem bastante êxito em conscientizar futuros profissionais da Química e áreas afins. É possível já no ensino médio-técnico, fomentar debates sobre o esverdeamento das atividades experimentais, e isso é fundamental para construção de uma visão mais sustentável.

Como os experimentos descritos são de fácil execução e faz uso materiais simples, eles podem ser estendidos ao ensino médio regular de qualquer instituição de ensino, assim como, pode ser aplicado em nível superior, ajustando os devidos níveis de conhecimento do tema abordado nesta prática.

## Agradecimentos e apoios

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, às Instituições IFRJ e Beyond Benign.

## Referências

- ALMEIDA, Q.A.R., SILVA, B.B., SILVA, G. A. L., GOMES, S.S., & GOMES, T.N.C. Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: mapeamento e importância na prática docente. **Amazônia Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v.15, n.34, p. 178-187, 2019.
- ANASTAS, P. T.; WARNER, J. **Green Chemistry: Theory and Practice**. Oxford University Press: Great Britain, 1998.
- ARAGÃO, N. M.; VELOSO, M. C. C; ANDRADE, J. B. Validação de métodos cromatográficos de análise - um experimento de fácil aplicação utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e os princípios da "Química Verde" na determinação de metilxantinas em bebidas. **Química Nova**, 2009.
- CORREA, A. G.; ZUIN, V. G. **Química Verde: Fundamentos e Aplicações**. 1a. ed. EDUFSCar: São Carlos, 2009.
- CUNHA, S.; SANTANA, L. L. B. Condensação de Knoevenagel de aldeídos aromáticos com o ácido de Meldrum em água: uma aula experimental de Química Orgânica Verde. **Química Nova**, 2012.

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, 2015.

FILHO, M. T.; SANTOS, U. P. Santos. **Silicose.** Trabalho realizado na Disciplina de Pneumologia do Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - InCor-HSFMUSP - São Paulo, 2006.

LÜDKE, M; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas.** São Paulo: EPU, 1986.

MACHADO, A.A.S.C. **Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica.** Florianópolis: Edufsc, 2014.

MACHADO, A. A. S. C. **Holistic Green Chemistry Metrics for use in Teaching Laboratories.** In: Mammino, L.; Zuin, V. G. (Eds.). *Worldwide Trends in Green Chemistry Education.* Royal Society of Chemistry: London, p. 16-26, 2015.

MANSILLA, D. S.; MUSCIA, G. C.; UGLIAROLO, E. A. Una fundamentación para la incorporación de la química verde en los currículos de química orgánica. **Educación química**, v. 25, n. 1, p. 56-59, 2014.

MARQUES, C. A. Estilos de pensamento de professores italianos sobre a Química Verde na educação química escolar. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencia**, 2012.

MAXIMIANO, F. A.; CORIO, P.; PORTO, P. A.; FERNANDEZ, C. Química Ambiental e Química Verde no conjunto do conhecimento químico: concepções de alunos de graduação em Química da Universidade de São Paulo. **Educación Química**, 2009.

MÓL, G. S. Pesquisa qualitativa em ensino de química. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 5, n. 9, p. 495-513, 2017.

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

SANDRI, M.C.M.; FILHO, O.S. Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de química. **Educación Química**, v.30, n.4, p. 34-46, 2019.

SOUZA, S. P. L.; MARQUES, M. R. C., MATTOS, M. C. S. Desenvolvimento sustentável e pensamento complexo - estudo de caso: o uso de argilas como catalisadores. **Química Nova**, 2012

ZUIN, V. G. **A inserção da dimensão ambiental na formação de professores de Química.** Átomo: Campinas, 2011.

ZUIN, V. G.; LORIATTI, M. C. C. S.; MATHEUS, C. E. O Emprego de Parâmetros Físicos e Químicos para a Avaliação da Qualidade de Águas Naturais: Uma Proposta para a Educação Química e Ambiental na Perspectiva CTSA. **Química Nova na Escola**, 2009.

ZUIN, V. G.; EILKS, I.; ELSHAMI, M.; KÜMMERER, K. Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. **Green Chemistry**, v. 23, n. 4, p. 1594-1608, 2021.

