

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA
BAHIA *Campus* Porto Seguro
Licenciatura em Química**

THARLES DOS SANTOS SANTANA

**QUÍMICA VERDE EM FOCO: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA NO
ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL II**

Porto Seguro (BA) - 2024

THARLES DOS SANTOS SANTANA

**QUÍMICA VERDE EM FOCO: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA NO
ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL II**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Porto Seguro, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Prof.^a Dra. Daniela Séfora de Melo Hackenhaar

Porto Seguro (BA) - 2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

S232q Santana, Tharles dos Santos

Química verde em foco: uma proposta pedagógica no ensino de Química orgânica experimental II / Tharles dos Santos Santana – Porto Seguro, 2024.

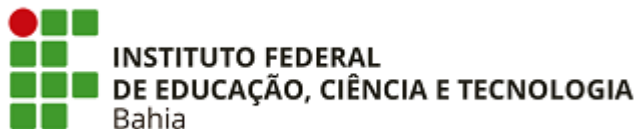
52 f. : il.

Orientadora: Dra. Daniela Séfora de Melo Hackenhaar.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, 2024.

1. Química – Estudo e ensino. 2. Química verde. 3. Química orgânica. 4. Química – Experiências. I. Título.

CDD 540.07



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
ROD BR 367 KM 57,5 - Bairro Fontana I - CEP 45810-000 - Porto Seguro - BA - www.portal.ifba.edu.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

THARLES DOS SANTOS SANTANA

QUÍMICA VERDE EM FOCO: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA NO ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL II

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Química, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Porto Seguro, pela seguinte Banca examinadora:

Professora Orientadora: Daniela Séfora de Melo Hackenhaar

Professora Avaliadora: Daniele Félix Santos

Professor Avaliador: Rauldenis Almeida Fonseca Santos

Porto Seguro, 17 de setembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **DANIELA SEFORA DE MELO HACKENHAAR, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 18/09/2024, às 14:15, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **Rauldenis Almeida Fonseca Santos, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 18/09/2024, às 14:53, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **DANIELLE FELIX SANTOS, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 18/09/2024, às 15:40, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **3732165** e o código CRC **FC37A2DF**.

RESUMO

O atual cenário envolvendo os graves problemas ambientais traz à tona um dos maiores desafios humanos: repensar nosso modo de vida e a relação que estabelecemos com a natureza. Levando em consideração o papel da educação e da ciência, em particular da Química, este trabalho teve como característica principal o estudo sobre como problematizar as questões ambientais, com ênfase na aplicação dos fundamentos da Química Verde, definida pela “utilização de um conjunto de princípios que reduz ou elimina o uso ou a geração de substâncias perigosas na concepção, fabrico e aplicação de produtos químicos”. O principal objetivo do estudo foi investigar como a aplicação dos princípios da Química Verde no ensino de Química Orgânica, com experimentos práticos, pode promover uma aprendizagem significativa. Especificamente, foi explorada a síntese do ácido acetilsalicílico (AAS) como exemplo de otimização de reação química visando torná-la mais sustentável e segura. A pesquisa foi definida como quali-quantitativa e utilizou uma abordagem pedagógica por projetos. As reações foram analisadas quanto à eficiência de massa, economia atômica e fator E, buscando reduzir o uso de reagentes tóxicos e o desperdício de materiais. Ao final os discentes responderam um questionário para avaliação da proposta metodológica. Os experimentos demonstraram que a redução da quantidade de reagentes e a substituição do catalisador por uma opção menos tóxica resultaram em uma menor geração de resíduos e uma síntese mais sustentável. Os resultados mostraram também que, mesmo com alterações significativas nos parâmetros, a qualidade dos produtos não foi comprometida. Além disso, os questionários aplicados aos estudantes revelaram que a maioria desconhecia a Química Verde antes da atividade, mas a abordagem foi considerada desafiadora e significativa, incentivando a adoção desses princípios em suas atividades futuras atuando no ensino da Química. Por fim, ao proporcionar uma aprendizagem prática e reflexiva, os futuros docentes desenvolveram uma visão mais crítica sobre a importância da Química no cotidiano, preparando-se para atuar como agentes formadores de cidadãos conscientes.

Palavras-chave: Verdura Química; Síntese do Ácido Acetilsalicílico; Sustentabilidade; Química Verde; Ensino.

ABSTRACT

The current context involving severe environmental problems brings to light one of humanity's greatest challenges: rethinking our way of life and the relationship we establish with nature. Considering the role of education and science, particularly Chemistry, this study focused on how to problematize environmental issues, with an emphasis on applying the principles of Green Chemistry, defined as "the use of a set of principles that reduces or eliminates the use or generation of hazardous substances in the design, manufacture, and application of chemical products." The main objective of the study was to investigate how the application of Green Chemistry principles in the teaching of Organic Chemistry, through practical experiments, can promote meaningful learning. Specifically, the synthesis of acetylsalicylic acid (ASA) was explored as an example of optimizing chemical reactions to make them more sustainable and safer. The research was defined as qualitative-quantitative and employed a project-based pedagogical approach. The reactions were analyzed in terms of mass efficiency, atomic economy, and E-factor, aiming to reduce the use of toxic reagents and material waste. At the end, students responded to a questionnaire to evaluate the methodological proposal. The experiments demonstrated that reducing the amount of reagents and replacing the catalyst with a less toxic option resulted in lower waste generation and a more sustainable synthesis. The results also showed that, even with significant changes in parameters, the quality of the products was not compromised. Additionally, the questionnaires revealed that most students were unfamiliar with Green Chemistry before the activity, but the approach was considered challenging and meaningful, encouraging the adoption of these principles in their future activities in Chemistry teaching. Finally, by providing practical and reflective learning, future teachers developed a more critical perspective on the importance of Chemistry in everyday life, preparing themselves to act as agents in forming conscious citizens.

Keywords: Chemical Vegetable; Synthesis of Acetylsalicylic Acid; Sustainability; Green Chemistry; Education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Rotas para a formação do ácido 6-aminopenicilânico.	16
Figura 2- Reação entre o benzeno sulfonato de sódio e o NaOH.	17
Figura 3- Síntese do ácido adípico rota convencional.	19
Figura 4- Síntese de ácido adípico rota verde.	19
Figura 5 - Agentes biocidas usados em cascos de navios.	21
Figura 6- Mecanismo da reação de obtenção do AAS com o uso do acetato de sódio.	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Breve análise das métricas da QV.	28
Quadro 2 - Trabalhos voltados ao ensino de Química Verde.	31
Quadro 3 - Levantamento por região sobre a presença de disciplinas em Química Verde nos cursos de licenciatura em química pesquisados.	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Análise quanto ao conhecimento da QV.	44
Gráfico 2- Análise da experiência com a QV	.45
Gráfico 3- Análise quanto ao desafio proporcionado pela QV.	46
Gráfico 4- Análise quanto a aplicação da QV no ensino.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições reacionais aplicadas à síntese do ácido acetilsalicílico.	34
Tabela 2 – Métricas de Massa para a síntese do ASS.	39
Tabela 3 – Síntese do AAS com a variação do tempo reacional.	42
Tabela 4 – Pontos de fusão para os produtos obtidos nas sínteses do AAS.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

QV: Química verde

AAS: Ácido Acetilsalicílico

DDT: Dicloro-Difenil-Tricloroetano

OPPT: Instituto de Prevenção à Poluição e Tóxicos

GCI: Instituto de Química verde

ACS: Sociedade Americana de Química

IUPAC: União Internacional de Química Pura e Aplicada

OTBE: Óxido de tributilestanho

DCOI: 4,5-dicloro-2-n-octil-4-isotiazolina-3-ona

EA: Economia Atômica

ME: Eficiência de massa

CTSA: Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

T.F: Temperatura de Fusão

IES: Instituição Pública de Ensino Superior

AS: Ácido Salicílico.

MV: Métrica Verde

MM: Massa Molar

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 HISTÓRICO DA QUÍMICA VERDE	13
3.2 PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE	15
3.3 MÉTRICAS HOLÍSTICAS DA QUÍMICA VERDE	26
3.4 ENSINO DE QUÍMICA VERDE	29
4. METODOLOGIA	32
4.1 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	36
4.3 TESTE DE PUREZA COM CLORETO FÉRRICO	36
4.4 DETERMINAÇÃO DO PONTO DE FUSÃO	36
4.5 MÉTRICAS DE MASSA	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 ANÁLISE MECANÍSTICA DA REAÇÃO ESTUDADA	37
5.2 ANÁLISE DA VERDURA QUÍMICA	38
5.3 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO	43
6. CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

O dia da Sobrecarga da Terra (em inglês, Earth Overshoot Day) marca a data a partir da qual a humanidade consumiu mais recursos naturais do que nosso planeta pode regenerar durante todo o ano (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2021a, c). Por exemplo, no ano de 2021, o dia da sobrecarga da Terra foi registrado em 29 de julho. Isso significa que, em 2021, a humanidade consumiu 74% a mais dos recursos naturais que os ecossistemas do planeta podem regenerar em um ano, o que corresponde aos recursos de 1,7 planetas (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2021b, c). Esses dados demandam uma situação preocupante, o que torna a importância de avançar nas questões ambientais para promover a sustentabilidade e a conservação dos recursos naturais da Terra, garantindo assim um futuro mais sustentável para as futuras gerações.

A indústria Química, ao transformar a matéria-prima em produtos químicos, pode contribuir para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, no entanto o desenvolvimento sustentável pressupõe mudanças nessa indústria, como a redução do consumo de matérias-primas não renováveis e produção de grandes quantidades de resíduos, fatores que representam um forte contribuinte da crise ambiental (MARQUES; MACHADO, 2014; MACHADO, 2011b). Dessa forma, é essencial que a indústria química adote meios mais ecológicos para garantir o desenvolvimento sustentável dos procedimentos que vão desde o design do produto até a disposição final dos recursos.

No contexto educacional, o ensino de Química enfrenta o desafio de abordar os impactos ambientais da indústria química, de forma a promover uma compreensão crítica e consciente por parte dos estudantes. Nesse sentido, a incorporação dos princípios da Química Verde no ensino de Química surge como uma abordagem inovadora e eficaz para promover a conscientização ambiental e estimular práticas mais sustentáveis. A Química Verde surge então como resposta a essa problemática e foi assim definida por Anastas e Warner (1998, p.11) “Química Verde é a utilização de um conjunto de princípios que reduz ou elimina o uso ou a geração de substâncias perigosas na concepção, fabrico e aplicação de produtos químicos.”

Nesse sentido, torna-se fundamental a inserção dessas problemáticas na perspectiva da Química Verde nos currículos dos cursos de química visando preparar esses futuros profissionais para combater os desafios ambientais do século de forma crítica, sustentável e responsável. Nessa perspectiva Roloff (2011, p.52) aponta que o ensino tradicional de Química, potencializado por uma organização curricular que pouco considera em sua estrutura as questões ambientais, deve ser problematizado nos cursos de Licenciatura/Bacharelado em Química, de maneira a promover uma maior reflexão no processo de formação dos químicos e dos professores de Química, para que possam entender que possuem uma responsabilidade ética e ambiental ao reproduzir ou desenvolver os processos químicos.

É crucial, portanto, integrar nos cursos de Química a discussão em torno de sínteses químicas que abracem esses princípios. Tal abordagem não apenas enriquece a formação dos profissionais da área, tornando-a mais consciente e responsável, mas também contribui significativamente para uma abordagem mais humanitária e ambientalmente sustentável.

Além disso, se faz necessário introduzir o conceito de verdura química no ensino de Química Verde, pois segundo Calvo-Flores (2009) esse conceito é diferencial para práticas químicas não poluentes, pois, permite avaliar e facilitar a escolha para processos mais limpos e benignos em relação ao meio ambiente. Por meio de uma série de parâmetros, como a massa dos componentes de uma síntese química, é possível quantificar, ao menos parcialmente, o impacto ambiental de um processo químico desenvolvido no laboratório ou na indústria.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar como a incorporação dos princípios da Química Verde no ensino de Química, aliada a uma abordagem prática em laboratório, pode promover uma aprendizagem significativa dos discentes, ao analisar e otimizar parâmetros de reações químicas visando tornar os processos mais sustentáveis e ambientalmente favoráveis.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar experimentos, usando como pano de fundo a Síntese do Ácido Acetilsalicílico (ASS), para aplicação dos princípios da Química Verde visando aumentar a verduza do processo.
- Verificar os aspectos mecanísticos da reação de síntese do AAS contextualizando o conteúdo com a disciplina teórica de Química Orgânica II.
- Investigar como a alteração dos parâmetros reacionais se relaciona a cada Princípio da Química Verde e como essa análise pode promover reflexões a respeito de questões ambientais;
- Promover alternativas metodológicas que tornem o ensino de química experimental significativo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 HISTÓRICO DA QUÍMICA VERDE

A indústria química vem se desenvolvendo significativamente após a segunda guerra mundial (século XX) e hoje em dia faz parte do nosso cotidiano, visto que a maior parte dos produtos que consumimos e utilizamos têm, pelo menos uma fase de seu fabrico, uma ligação com a indústria. No entanto, sua imagem se deteriorou ao longo dos anos em meio a catástrofes com graves consequências humanas e ecológicas. Como exemplos estão a talidomida, responsável pelo nascimento de milhares de crianças com deformações congênitas, que foram posteriormente atribuídas ao seu perfil teratogênico (SNEADER, 1985).

Por volta do mesmo período, o DDT (um inseticida que na época era considerado um medicamento milagroso no combate contra a malária devido a sua eficiência na erradicação dos mosquitos portadores da doença) revelou-se como sendo um poluente orgânico persistente no qual é encontrado no ambiente mesmo depois de se espalhar e por consequência se torna presente na cadeia alimentar humana. Seu uso hoje é muito regulamentado, sendo proibido em muitos países.

No Brasil, a Lei nº 11.936/2009 banuiu definitivamente o uso do DDT:
—Proíbe à fabricação, a importação, a exportação, a manutenção em

estoque, a comercialização e o uso de diclorodifeniltricloreto (DDT) e dá outras providências (BRASIL, 2009, p.1).

Além disso, destacam-se acidentes como os de Seveso na Itália em 1976, Bhopal na Índia em 1984, a explosão da fábrica AZF em Toulouse na França em 2001, que tiveram um impacto duradouro na memória das pessoas (LOPES, 2017). No entanto, a frequência desses eventos foi e continua a ser muito baixa. Por outro lado, a indústria química ao longo de sua intensa fase de expansão, liberou substâncias de forma descontrolada no ar, na água e no solo.

Visto as consequências ambientais da expansão da indústria química, começou assim uma reflexão sobre uma “reforma da química”, uma reflexão que faz parte de um trabalho em grande escala sobre o impacto das atividades humanas no meio ambiente.

A fim de atender às metas ambientais e econômicas, o congresso dos EUA aprovou em 1990, a Lei de Prevenção da Poluição (Pollution Prevention) (FARIAS; FÁVARO, 2011).

Essa lei marcou uma mudança radical no paradigma de gestão ambiental: em vez de tratar os resíduos produzidos, trata-se de reduzi-los na fonte para evitar a poluição. Muitas disciplinas devem ser envolvidas neste esforço de redução de resíduos, incluindo a química.

Em 1991, após publicação da Lei de Prevenção da Poluição nos EUA, a EPA, por meio do Instituto de Prevenção à Poluição e Tóxicos (OPPT) lançou o programa Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição (FARIAS; FÁVARO, 2011). Foi a primeira iniciativa de investigação em Química Verde com a finalidade de evitar a síntese de substâncias perigosas.

Em 1995, o governo dos EUA instituiu o programa The Presidential Green Chemistry Challenge, com o objetivo de premiar indivíduos e empresas que buscassem inovações tecnológicas a serem implementadas na indústria para a redução da produção de 28 resíduos na fonte, em diferentes setores da produção (FARIAS; FÁVARO, 2011, p.1090). Anualmente são premiados trabalhos em cinco categorias (LENARDÃO *et al.*, 2003): acadêmico; pequenos negócios; rotas

sintéticas alternativas; condições alternativas de reação e desenho de produtos químicos mais seguros.

Em 1997 foi criado o Instituto de Química Verde (Green Chemistry Institute - GCI) e desde janeiro de 2001 atua em parceria com a Sociedade Americana de Química (American Chemical Society – ACS) (LENARDÃO *et al.*, 2003). Essa cooperação visa transformar a Química Verde uma prioridade no âmbito nacional e internacional de pesquisa aproximando assim, os interesses dos formuladores de políticas, líderes empresariais e comunidades científicas em novas iniciativas.

Em setembro de 1997, a União Internacional de Química Pura e Aplicada (International Union for Pure and Applied Chemistry - IUPAC) organizou sua Primeira

Conferência Internacional em Química Verde em Veneza. Em 1998, Anastas e Warner apresentaram ao mundo o conceito de Química Verde (QV), que pode ser definido como “o desenho, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde e ao ambiente” (ANASTAS; WERNER, 1998. p.11)

Em julho de 2001 houve a criação do Subcomitê Interdivisional de Química Verde e em setembro do mesmo ano foi realizado o Workshop sobre Educação em "Green Chemistry" da IUPAC (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Ressalta-se que a Química Verde não surgiu de forma imediata, mas por meio da influência de importantes movimentos e programas de cunho político, econômico e ambiental.

3.2 PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE

Os doze princípios da Química Verde foram desenvolvidos originalmente por Paul Anastas e John Warner, no trabalho intitulado Química Verde: Teoria e Prática. Estes princípios delineiam o roteiro para os químicos estabelecerem uma lógica de Química Verde em suas ações, podendo assim implementá-la em uma indústria, instituição de ensino ou investigação na área.

Os doze princípios são apresentados a seguir:

1. Prevenção

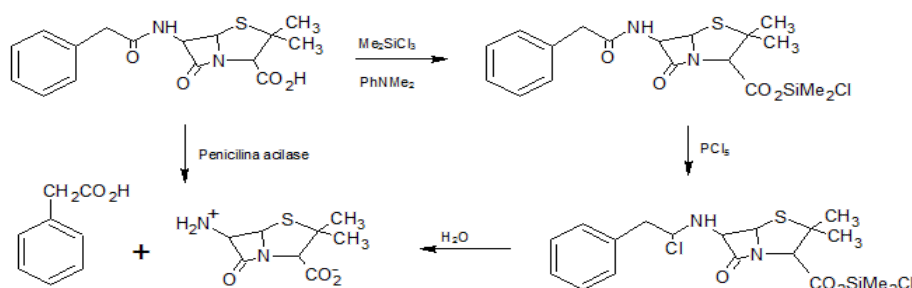
“É mais barato evitar a formação de resíduos tóxicos do que tratá-los depois de serem produzidos.” (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Um exemplo de reações que foram transformadas em reações "verdes" respeitando o princípio de prevenir a formação de resíduos são as reações que envolvem a proteção de determinados grupos, frequentemente utilizadas na indústria farmacêutica e que representam uma importante fonte de resíduos. (LANCASTER, 2002)

Esses processos, além de serem grandes produtores de resíduos das matérias-primas utilizadas, também requerem duas etapas adicionais nas quais são utilizados grandes volumes de solventes e são registrados baixos rendimentos.

Um exemplo da simplificação desse processo, substituindo um processo que envolve três etapas de síntese por um que envolve apenas uma etapa é utilizando a biotransformação. Um excelente exemplo de simplificação de processos em que uma série de etapas foi reduzida a uma única etapa por uma biotransformação é a fabricação de ácido 6-aminopenicilânico, um antibiótico (Figura 1) (CLARK, 2002).

Figura 1 Rotas para a formação do ácido 6-aminopenicilânico.



Fonte: Santana (2024).

Existem muitos benefícios verdes adicionais para o processo biocatalítico, incluindo: evitar o solvente diclorometano, a água é usada no processo biocatalítico; economia de energia, a reação realizada a 30°C contra -50°C para a etapa de

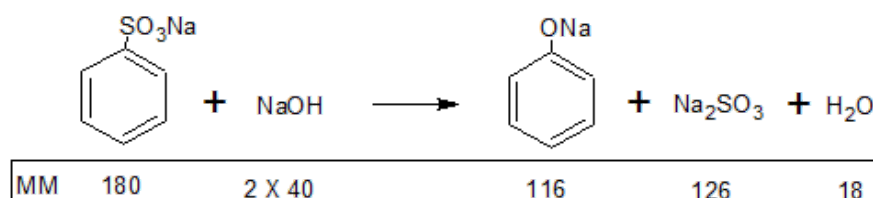
proteção e menos problemas de segurança, o PCl_5 tóxico também foi usado no processo não biocatalítico (CLARK, 2002).

2. Economia de átomos

“As metodologias sintéticas devem ser desenvolvidas de modo a incorporar o maior número possível de átomos dos reagentes no produto final.” (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Por razões econômicas e ambientais, as reações devem ser projetadas para serem eficientes em termos de átomos, ou seja, o máximo possível de átomos reagentes deve resultar em produtos úteis (TROST, 1991). De acordo com este conceito, os átomos reagentes devem ser incluídos tanto quanto possível nos produtos da reação. Como pode ser visto no exemplo mostrado a seguir:

Figura 2- Reação entre o benzeno sulfonato de sódio e o NaOH.



Fonte: Santana (2024).

Todos os átomos de carbono presentes no material de partida são incorporados ao produto, dando uma eficiência de átomo de carbono de 100%, mas nenhum enxofre acaba sendo um produto útil e, portanto, a eficiência de átomo de enxofre é de 0%. No geral, a eficiência atômica da reação é definida como a razão entre os pesos moleculares do produto desejado e a soma dos pesos moleculares de todos os materiais produzidos no processo. No exemplo acima, a eficiência atômica seria $116/260$ ou 44,6% (CLARK, 2002).

Essa medida de eficiência atômica é importante na abordagem da Química Verde e em processos industriais, uma vez que, indica o quanto dos materiais de partida estão sendo aproveitados na produção do produto desejado, evitando assim

desperdícios a partir dos resíduos gerados no processo e acaba maximizando a utilização de recursos utilizados.

Por muitos anos, a síntese do fenol baseou-se na reação entre o benzeno sulfonato de sódio e o NaOH. Os produtos da reação são fenolato de sódio (que é subsequentemente hidrolisado a fenol), sulfito de sódio e água. Embora a reação prossiga com um rendimento muito bom, olhando para as quantidades obtidas, observa-se que mais resíduos são gerados do que o produto de reação desejado. (CLARK, 2002). Ainda que o fenol seja o produto desejado, esse processo gera uma grande quantidade de sulfito de sódio como subproduto o que torna essa reação preocupante para o meio ambiente devido a natureza do sulfito de sódio como poluente, principalmente em grandes quantidades.

O conceito de "economia de átomos" foi ampliado por Sheldon (1997), ao introduzir o "fator E", que representa a razão entre a massa de produtos de reação inúteis e a do produto de reação desejado. O *fator E* considera a quantidade de resíduo gerado para cada quilograma de produto obtido. Por resíduo, considera-se tudo o que é produzido além do produto desejado ao longo do processo de fabricação.

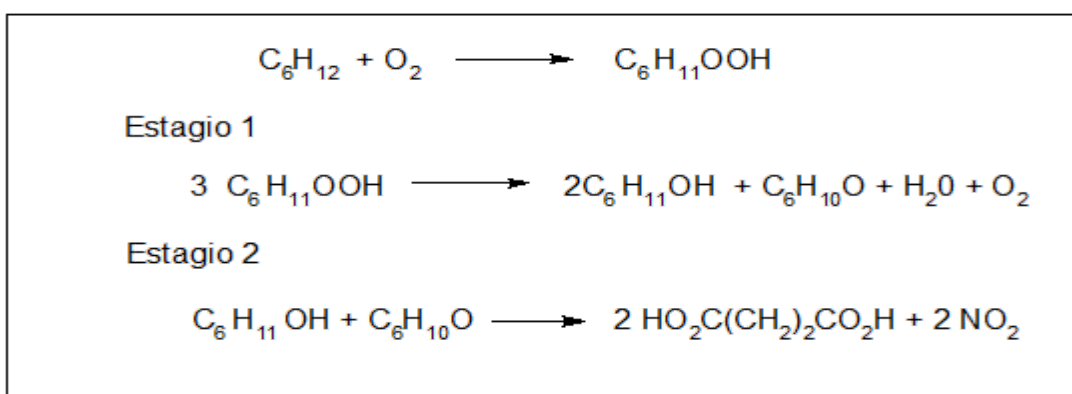
3. Síntese Segura

“Deve-se desenvolver metodologias sintéticas que utilizam e gerem substâncias com pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.” (LENARDÃO *et al.*, 2003).

O conceito básico de projeto inerentemente seguro é que, em vez do controle de exposição, existem perigos que estão, na medida do possível, fora do projeto de um processo. Mesmo que os processos tenham sido projetados para serem seguros, ainda existem perigos. A abordagem básica neste caso é que "o que não temos não nos prejudica". A produção de ácido adípico é um exemplo adequado que envolve não apenas um design natural seguro, mas também aplica os princípios da Química Verde (CLARK, 2002).

Mais de 90% da produção de ácido adípico é obtida pela oxidação do ciclohexano em um processo de duas etapas (Figura 4) que envolve a oxidação inicial do ar usando naftenato de cobalto ou ácido bórico como catalisadores, seguida pela oxidação da cetona/mistura de álcool com excesso de ácido nítrico (CLARK, 2002).

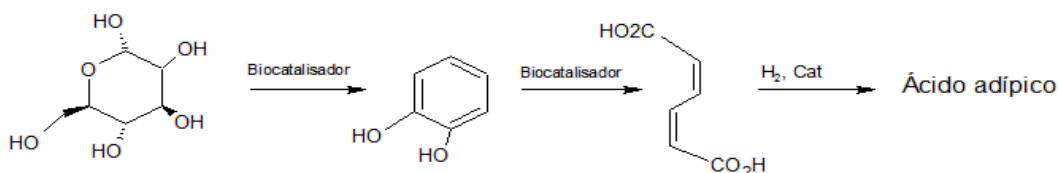
Figura 3 Síntese do ácido adípico rota convencional.



Fonte: Santana (2024).

Embora esse processo tenha sido aplicado com sucesso por muitos anos por grandes empresas químicas, existem muitos problemas de sustentabilidade e aqueles característicos da Química Verde como a formação de subprodutos nocivos. Uma solução sustentável para síntese do ácido adípico foi identificada por Draths & Frost (1998). O processo introduzido envolve a síntese de ácido adípico a partir da glicose via catecol usando o biocatalisador *Escherichia coli* geneticamente modificado (DRATHS, FROST, 1998).

Figura 4 Síntese de ácido adípico rota verde.



Fonte: Santana (2024)

4. Desenvolvimento de Produtos Seguros

“Deve-se projetar o desenvolvimento de produtos que após realizarem a função desejada, não causem danos ao ambiente.” (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Um dos principais princípios da Química Verde é obter produtos e projetar processos que usem e produzam materiais menos perigosos. Neste caso, a periculosidade abrange muitos aspectos incluindo toxicidade, inflamabilidade, potencial de explosão e persistência no meio ambiente.

Um perigo pode ser definido como uma situação que pode levar a danos, enquanto o risco é a probabilidade de que o perigo ocorra. Do ponto de vista da ocorrência de um perigo causado pela exposição a substâncias químicas, o risco pode ser definido na forma de (CLARK, 2002):

Risco = (função) perigo x exposição

A abordagem tradicional para reduzir o risco de certos produtos químicos perigosos têm sido limitar a exposição a esses produtos químicos ou a certos estressores físicos, ou introduzir novas práticas de sistema e práticas de trabalho.

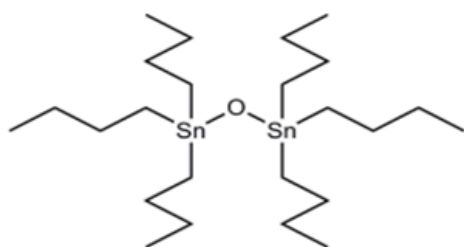
Com relação à avaliação da toxicidade, numerosos métodos foram desenvolvidos para medir os efeitos potencialmente perigosos de substâncias químicas. Os testes comuns incluem aqueles para determinar o grau de irritação, efeitos mutagênicos (induzindo alterações transmissíveis permanentes na massa ou estrutura do material genético de células ou organismos), efeitos no sistema reprodutivo e toxicidade aguda (refere-se aos efeitos indesejados que podem aparecer após uma única exposição ou múltiplas exposições a uma determinada substância em um período de 24 horas) (CLARK, 2002).

Uma aplicação deste princípio ocorre em navios. Segundo Waner *et al.* (2004) nos cascos de navios, são empregados anti-limos para proteção contra ferrugem e outros danos que podem ser causados pelo contato constante da água salgada com o metal da estrutura. Uma substância presente nos anti-limos é o óxido de

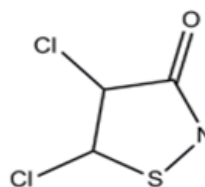
tributilestanho (OTBE) (Fig. 6), que possui características mutagênicas, persistentes e tem um tempo de meia-vida superior a 6 meses na água do mar.

O SEA-NINER foi desenvolvido para substituir o OTBE, tendo como agente biocida o 4,5-dicloro-2-n-octil-4-isotiazolina-3-ona (DCOI) (Fig. 6), que tem como característica principal a sua rápida degradação em produtos não tóxicos à vida marinha. Além disso, seu tempo de meia-vida é inferior a 1 hora na água do mar (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Figura 5 Agentes biocidas usados em cascos de navios.



Óxido de tributilestanho (OTBE)



4,5-dicloro-2-n-octil-4-isotiazolina-3-ona (DCOI)
SEA-NINE^R

Fonte: Lenardão (2003).

Dessa forma, ao mesmo tempo que o SEA-NINER oferece proteção contra as incrustações nos cascos dos navios, ele acaba minimizando os impactos adversos ao ecossistema marinho e a saúde dos organismos ali presentes.

5. Uso de Solventes e Auxiliares Seguros

“A utilização de substâncias auxiliares como solventes, agentes de purificação e secantes precisa ser evitada ao máximo; quando inevitável a sua utilização, estas substâncias devem ser inócuas ou facilmente reutilizadas.”(LENARDÃO *et al.*, 2003).

O uso de solventes é de vital importância para o desenvolvimento da Química Verde. Geralmente, são utilizados como solventes compostos orgânicos com elevado grau de toxicidade e que requerem cuidados e capital na sua manufatura,

transporte, estoque e descarte (DA SILVA *et al.*, 2005) e ainda são responsáveis pela poluição do ar e da água.

A solução "verde" é a eliminação de solventes, mas esse conceito não é colocado em prática pelos químicos, pelo menos em situações onde estão envolvidos reagentes sólidos (RASTON, 2000).

A água é um dos solventes mais utilizados para reações orgânicas e é um dos solventes mais baratos e seguros sendo satisfatório para uma grande variedade de compostos orgânicos e inorgânicos, além de ser abundante na natureza ela pode ser facilmente tratada e reciclada.

6. Busca pela Eficiência de Energia

“Os impactos ambientais e econômicos causados pela geração da energia utilizada em um processo químico precisam ser considerados. É necessário o desenvolvimento de processos que ocorram à temperatura e pressão ambiente.” (LENARDÃO *et al.*, 2003).

A energia necessária nas reações químicas vem de fontes externas de energia térmica, como vapor, óleo quente e elementos de aquecimento elétrico. Se um processo for projetado, para eficiência energética o uso deve ser levado em consideração de fontes de energia mais eficientes e a substituição de fontes de energia convencionais. As fontes alternativas de energia incluem: microondas, fontes fotoquímicas, ultrassônicas e eletroquímicas. (CLARK, 2002)

Essas fontes alternativas de energia estão se tornando cada vez mais importantes na pesquisa química e na indústria, pois oferecem abordagens mais eficientes, sustentáveis e seletivas para uma variedade de aplicações químicas e processos de fabricação.

7. Uso de Fontes de Matéria-Prima Renováveis

“O uso de biomassa como matéria-prima deve ser incentivado no desenvolvimento de novas tecnologias e processos.” (LENARDÃO *et al.*, 2003).

A distinção entre recursos renováveis e não renováveis é importante para o planejamento e a gestão sustentável dos recursos naturais.

Recursos não renováveis geralmente requerem uma gestão cuidadosa para garantir que seu uso não exceda as reservas disponíveis e para promover a transição para fontes de energia e materiais mais sustentáveis. Por outro lado, recursos renováveis podem ser aproveitados de forma sustentável, desde que sejam gerenciados de maneira responsável e respeitando os limites de regeneração natural (LANCASTER, 2002).

Cerca de 90% do petróleo bruto é utilizado para fornecer energia através da queima de petróleo, gasolina e diesel, e apenas 8% do petróleo bruto é utilizado para produzir produtos químicos. Existem dois argumentos a favor da redução da dependência dos combustíveis fósseis e da utilização em larga escala de recursos renováveis:

1) preservar reservas valiosas de combustíveis fósseis para as gerações futuras (um princípio básico de sustentabilidade);

2) reduzir as emissões globais de gases com efeito de estufa, especialmente dióxido de carbono (recursos renováveis que não envolvem emissões de CO₂). (CLARK, 2002)

Como resultado, a obtenção de produtos químicos a partir de fontes renováveis envolverá a obtenção de benefícios adicionais, tais como a redução de perigos, a tornar os processos mais eficientes, a redução de custos, a redução da poluição, a satisfação das necessidades do mercado. (LANCASTER, 2002)

8. Evitar a Formação de Derivados

“Processos que envolvem intermediários com grupos bloqueadores, proteção/desproteção, ou qualquer modificação temporária da molécula por processos físicos e/ou químicos devem ser evitados.” (LENARDÃO *et al.*, 2003).

As reações de síntese foram propostas em várias etapas envolvendo grupos protetores. Esta proteção bloqueará temporariamente a reatividade de grupos

funcionais específicos até que seja introduzido um segundo reagente específico para remover o grupo protetor. Embora estas sínteses clássicas permaneçam no testamento como pertencentes à história das sínteses orgânicas, deve-se admitir que do ponto de vista do impacto ambiental, a utilização de grupos de proteção (bloqueio) é menos aceitável do que a realização da mesma síntese sem bloquear certos grupos (LANCASTER, 2002).

9. Catálise

“O uso de catalisadores (tão seletivos quanto possível) deve ser escolhido em substituição aos reagentes estequiométricos.” (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Na literatura, há muitos exemplos que descrevem as vantagens da substituição de metodologias clássicas por técnicas catalíticas, seja na obtenção de fármacos ou de matérias-primas para a indústria química (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Ao substituir metodologias clássicas por técnicas catalíticas, os químicos conseguem melhorar a eficiência dos processos sintéticos, reduzir os resíduos e subprodutos indesejados, economizar tempo e recursos e em muitos casos, obter produtos de maior pureza e qualidade. Isso contribui não apenas para avanços na pesquisa acadêmica, mas também para o desenvolvimento de processos mais sustentáveis na indústria química.

10. Produtos Degradáveis

“Os produtos químicos precisam ser projetados para a biocompatibilidade. Após sua utilização não deve permanecer no ambiente, degradando-se em produtos inócuos.”(LENARDÃO *et al.*, 2003).

O décimo princípio procura promover o desenvolvimento de produtos degradáveis ao término de sua vida útil. Seu principal objetivo é incentivar a criação de produtos químicos que se degradem em substâncias inofensivas após o cumprimento de suas funções. Além disso, o princípio visa alertar as indústrias sobre a importância de produzir bens de consumo biodegradáveis que sejam seguros, não tóxicos e eficientes.

É possível colocar grupos funcionais na estrutura de um produto químico de modo a facilitar a sua degradação. Funcionalidades que sejam susceptíveis de hidrólise, fotólise, ou outras, têm sido usadas com sucesso de modo a assegurar que o produto seja biodegradável (RAMOS, 2009). Ao introduzir esses grupos funcionais em compostos químicos, os fabricantes podem aumentar a taxa de degradação do produto, facilitando sua decomposição natural no meio ambiente. Isso é importante para produtos químicos que podem persistir no ambiente e causar impactos negativos na ecologia e na saúde humana se não forem degradados adequadamente.

É igualmente importante reconhecer que os produtos de degradação podem eles mesmo serem tóxicos ou outras perigosidades que têm que ser avaliadas. É óbvio que se um produto é desenhado e ao degradar-se origina substâncias que aumentem o risco para a saúde humana e ambiental o objetivo da Química Verde não será alcançado. Dessa forma, Ramos (2009) afirma que “assim como em qualquer outro tipo de produto ou processo biodegradável, deverá incluir os efeitos para a saúde humana, ecossistema e sobrecarga da poluição”.

11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição

“A monitorização e controle em tempo real, dentro do processo, deverá ser viabilizado. A possibilidade de formação de substâncias tóxicas deverá ser detectada antes de sua geração.”(LENARDÃO *et al.*, 2003).

O desdobramento dos processos químicos para a Química Verde se sustenta na premissa “Não controlamos aquilo que não medimos”. No sentido de efetuar alterações nos processos durante a sua realização, necessitamos de sensores precisos e confiáveis, monitores e técnicas analíticas que permitam avaliar os perigos que estão presentes ao longo do processo (DAVIS; FOX, 2003).

Nesse sentido, o monitoramento ao longo dos procedimentos permite controlar a formação de subprodutos nocivos e a formação de reações secundárias. Dessa forma, assim que substâncias nocivas são detectadas mesmo em níveis

delicados, será possível dessa forma ajustar os parâmetros do processo de forma a eliminar ou reduzir a formação dessas substâncias.

12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes.

“A escolha das substâncias, bem como sua utilização em um processo químico, deve procurar a minimização do risco de acidentes, como vazamentos, incêndios e explosões.” (ANASTAS; WERNER, 1998).

Este é o último princípio da Química Verde, que só é cumprido uma vez que todos os outros onze princípios forem exercidos, ou seja, se não há solventes voláteis, se não há reagentes tóxicos, se o processo foi desenvolvido com alta eficiência energética, se utilizou-se catalisadores e se há controle em tempo real do processo (SILVEIRA, 2015).

Sabemos da importância em prevenir acidentes na indústria química exige muito cuidado. Nessa perspectiva, os perigos expostos pela explosividade, toxicidade e inflamabilidade devem estar inseridos nos desenhos dos produtos químicos e processos químicos (LANCASTER, 2002). Dessa forma, se faz necessário que as metas da Química Verde envolvam um conjunto completo de perigos e não focar apenas na poluição e na ecotoxicidade.

Quando analisamos atentamente os doze princípios da Química Verde, uma filosofia clara emerge na mente de cada químico. Em primeiro lugar, a prática da Química Verde é sobretudo um comportamento individual porém, que deve ser ampliado aos diferentes órgãos de decisão da sociedade.

3.3 MÉTRICAS HOLÍSTICAS DA QUÍMICA VERDE

Devido à complexidade dos processos industriais químicos, é essencial estabelecer métricas claras e precisas para avaliá-los. Essas métricas são fundamentais para garantir a eficiência, a segurança e a sustentabilidade dos processos industriais químicos.

Conforme Machado (2014, p.37) a “métrica é um sistema de avaliação do funcionamento de um sistema dinâmico complexo que permita aferir o modo como

ele opera, especificamente quanto ao cumprimento dos respectivos objetivos, isto é, um sistema de medição da performance do sistema”. Verifica-se que a métrica é um sistema de avaliação da eficiência (medidas de performance) dos sistemas de produção, em seus múltiplos âmbitos, no uso das matérias-primas (entradas) nos processos em que se realiza a sua transformação nos produtos (saídas), qualidade dos produtos, tempo e custo de produção, dentre outros aspectos.

Ao longo dos últimos anos, novas métricas holísticas foram sugeridas para convencer os químicos da necessidade de modificar os mecanismos usados para sínteses e processos químicos. Os roteiros mais tradicionais para aferir a eficiência das reações químicas que são utilizadas pelas indústrias químicas se baseiam em rendimento e seletividade (MACHADO, 2014). Dessa forma, independente se teve resíduos, subprodutos, entre outros fatores a reação que obtiver um bom rendimento é considerada um sucesso.

Por conseguinte, a noção tradicional de rendimento não é mais eficiente para avaliar a eficácia dos processos químicos. Dessa forma, tentar implementar a Química Verde requer a introdução de novos conceitos que permitam uma melhor avaliação da eficiência dos processos, além de, servir como uma estrutura para otimizar os procedimentos existentes e desenvolver novas estratégias de síntese.

Assim, para se quantificar o impacto ambiental de processos ou sínteses químicas, diversas variáveis devem ser consideradas (MERCER; ANDRAOS; JESSOP, 2012). Por exemplo, na avaliação da minimização dos resíduos, pode ser utilizado o Fator E. Outras métricas de massa da Química Verde, como a Economia Atômica (EA) e Eficiência de Massa (EM), avaliam a incorporação dos átomos do reagente no produto (MACHADO, 2014). No quadro 1 apresenta uma breve análise das métricas da Química Verde aplicadas neste trabalho.

Quadro 1 Breve análise das métricas da QV.

Métricas da Química Verde	Vantagens e limitações
Fator E	
<p>Definido e calculado por Sheldon (no início da década de 1990) como a razão de massas entre a totalidade de massa dos resíduos produzidos e a massa do produto desejado, sendo por isso um simples número sem unidades (MACHADO, 2014, p.107). O valor do fator E deve ser o menor possível, sendo zero o valor ideal (indica que não houve produção de quaisquer resíduos). Nas situações reais, o Fator E é frequentemente uma métrica com valor bastante elevado (MACHADO, 2014).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Nessa métrica se contabilizam os resíduos totais (MACHADO, 2014). - É uma métrica muito simples e fácil de calcular com base nas massas de materiais usados e do produto (MACHADO, 2014). - Uma desvantagem é que envolve apenas a quantidade de resíduos formados, ignorando a sua natureza (MACHADO, 2014). - A métrica não considera a avaliação da toxicidade dos resíduos e as necessidades do seu tratamento (MACHADO, 2014).
Economia atômica	
<p>A ideia de EA foi introduzida por Trost em 1991. Trost descobriu a importância de aumentar a fração de átomos de reagentes englobados no produto final, para se obter eficácia nos processos de síntese (MACHADO, 2014, p.122-123). A AE é definida como a razão da massa de átomos incorporados no produto e a massa total de átomos dos reagentes, expressa geralmente em percentagem. O seu valor ideal é de 100%, que ocorre quando todos os átomos dos reagentes são incorporados no produto, sem a formação de coprodutos (DUARTE; RIBEIRO; MACHADO, 2019).</p>	<ul style="list-style-type: none"> -O cálculo (valor teórico) é simples e pode ser usado antes da realização do trabalho de laboratório (MACHADO, 2014). - A EA indica apenas a potencialidade que a reação de síntese tem de ser mais ou menos verde quanto à utilização da massa dos reagentes estequiométricos (DUARTE; RIBEIRO; MACHADO, 2019, p.71). - A AE por si só é insuficiente para avaliar as quantidades relativas da matéria aportada pelos reagentes estequiométricos que são aprovados na formação do produto ou desperdiçadas em resíduos, porque o seu cálculo é baseado na equação química acertada e o seu valor é constante (DUARTE; RIBEIRO; MACHADO, 2019,p.71).
Eficiência de massa	

Métricas da Química Verde	Vantagens e limitações
<p>A ME é definida como: razão da massa de produto obtido para a massa total de materiais usados na reação ou no processo, normalmente expressa em percentagem (MACHADO, 2014, p.114). A ME é calculada por uma expressão semelhante à da RME.</p> <p>Porém, não devem ser confundidas. A ME é calculada com base na massa total de todos os reagentes utilizados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Avalia a incorporação efetiva dos átomos dos reagentes nos produtos (MACHADO, 2014). - Essa métrica considera a massa de todos os reagentes utilizados no processo, incluindo excessos, solventes e auxiliares (MACHADO, 2014).

Fonte: Santana (2024)

3.4 ENSINO DE QUÍMICA VERDE

A Química Verde deve ser ensinada em todas as etapas do ensino (Fundamental, Médio e Superior). Os projetos na área da educação devem abranger desde o começo do aprendizado tendo contato inicial com a ideia da química sustentável no ensino fundamental passando por experiências escolares com foco em Química Verde no ensino médio, até o desenvolvimento de programas de estudos específicos em Química Verde no ensino superior.

[...] é importante que os professores se dêem conta que os princípios da Química Verde transitam por muitos conteúdos químicos, seja na Educação Básica ou Superior, e isso torna possível abordá-los no desenvolvimento de conceitos em sala de aula. A exemplo disso podemos tomar o conceito de incorporação de átomos ao produto principal, relacionado ao segundo princípio (P2), e que pode, sem grandes mudanças no planejamento das aulas, passar a fazer parte do conteúdo de Estequiometria, estendendo-se inclusive para o tratamento matemático que levará aos cálculos de eficiência atômica e Fator E (MACHADO, 2014, p. 156).

Por sua visão inovadora, a Química Verde no ensino de química, pode ser utilizada de diversas maneiras, associadas ao conteúdo curricular, desde questões estequiométricas relacionando o rendimento, até a questão de sustentabilidade, utilização e manejo adequado do meio ambiente, porém, diferenciando da Química Ambiental, onde está relacionada às consequências negativas provocadas pelo homem no meio ambiente, a Química Verde adentra com seus princípios de maneira

preventiva, buscando processos que minimizem ou evitem a degradação ambiental, com o uso mais racional de todos os componentes da reação (BAIRD & CANN, 2011; MACHADO, 2007).

Dessa forma, a Química Verde pode ser usada como uma lente através da qual os alunos podem explorar questões de sustentabilidade e responsabilidade social na ciência e na indústria. Eles podem examinar como os princípios da Química Verde podem ser aplicados em diferentes contextos, desde a síntese de produtos químicos até o design de processos industriais (MACHADO, 2014). Ao abordar esses tópicos, os alunos não apenas desenvolvem uma compreensão mais profunda da química, mas também são incentivados a pensar criticamente sobre o papel da ciência na sociedade e a buscar soluções inovadoras para os desafios ambientais e sociais enfrentados pela sociedade moderna.

Para Almeida *et al.*, (2018, p. 33) a inserção dos conceitos da Química Verde, fomenta “a formação, tanto em alunos quanto em professores, de um pensamento mais crítico e atencioso a respeito dos impactos que a química pode causar no meio ambiente”. A Química Verde, através de seus princípios busca sensibilização ambiental, e a sua ausência como disciplina no ensino superior, acarreta uma deficiência, dado que o professor não possuirá tal saber disciplinar, trazendo prejuízos a formação no ensino médio, onde a Química Verde já é dificilmente abordada (ALMEIDA *et al.*, 2019).

Portanto, a ausência da Química Verde como disciplina no ensino superior pode representar uma lacuna significativa na formação dos futuros profissionais da área de química e áreas afins. Ao não oferecer aos estudantes a oportunidade de aprender sobre os princípios e práticas da Química Verde, as instituições de ensino podem estar perdendo uma oportunidade crucial de sensibilizar os futuros cientistas e profissionais para as questões ambientais e sustentabilidade. A falta de familiaridade com os conceitos da Química Verde por parte dos professores também pode limitar sua capacidade de integrar esses temas de forma eficaz ao currículo do ensino médio. Isso pode resultar em uma abordagem mais tradicional e menos

abrangente da química, que não prepara os alunos para lidar com os desafios ambientais e sociais que enfrentarão no futuro.

Conforme destacado por Lenardão *et al.*(2003), o conceito de Química Verde é comum em aplicações industriais, porém, é incorporado de maneira gradativa no meio acadêmico, no ensino e pesquisa. Pereira (2018) enfatiza sua utilização na educação básica, onde se prepara assim, profissionais capacitados dentro da Química Verde. Nessa perspectiva, uma abordagem interdisciplinar irá favorecer uma visão mais ampla de como a Química Verde pode ser utilizada, o que favorece a formação cidadã.

A importância da formação básica em química com relação à Química Verde e aos aspectos de sustentabilidade é essencial para dar aos adultos de amanhã a oportunidade de tomar decisões responsáveis pelo seu trabalho, pela sua empresa, pela sua comunidade e pela sua vida privada.

A seguir (Quadro 2) são apresentados alguns trabalhos na área da Química Verde no ensino.

Quadro 2 Trabalhos voltados ao ensino de Química Verde.

Título	Autores	Tipo	Ano
Avaliando Métricas em Química Verde de Experimentos Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas no Ensino Médio	Kayanne Maria S. Santos, Lylian M. A. Lima, <i>et al.</i>	Artigo	2021
Ambiente temático virtual de Química Verde para simulações de sínteses no Ensino de Química na perspectiva do desenvolvimento sustentável	Patricia L. Rüntzel e Carlos Alberto Marques	Artigo	2022

Determinação do grau de saponificação de óleo residual: uma experiência no ensino de Química sob as perspectivas CTSA e Química Verde	Flávia de Mello; Sandra Inês Adams Angnes Gomes; <i>et al.</i>	Artigo	2019
Síntese do Ácido Acetilsalicílico: Uma proposta para Laboratórios de Graduação empregando a Química Verde	Larissa de A. Domingues, Cássia G. Magalhães e Marilei C. M. Sandri	Artigo	2022
Aplicação de princípios de Química Verde em experimentos didáticos: um reagente de baixo custo e ambientalmente seguro para detecção de íons ferro em água	Ana Lúcia de S. Ventapane e Paula M. L. dos Santos	Artigo	2020

Fonte: Santana (2024)

4. METODOLOGIA

A pesquisa se caracteriza como quanti-qualitativa. De acordo com Mineiro *et al.* (2022) a pesquisa qualitativa consiste em uma abordagem de investigação que considera a conexão do sujeito com o mundo e suas relações, não desconsiderando a subjetividade dos participantes do estudo nem do pesquisador, entendendo que não é possível o desenvolvimento de um trabalho asséptico. Já a pesquisa de abordagem quantitativa foca no controle dos dados, utilizando-se de instrumentos e técnicas objetivas para discutir as informações obtidas por meio de uma análise subsidiada por instrumentos matemáticos, buscando generalizações.

Com base nos procedimentos técnicos essa pesquisa se destaca como sendo uma pedagogia de projetos, visto que foi desenvolvida dentro de um projeto proposto pela professora da disciplina. O objetivo da pedagogia de projeto é transformar um problema em projeto e concretizá-lo. O trabalho de projeto é uma metodologia investigativa centrada na resolução de problemas (BARBOSA, 1993; p. 41). A pedagogia de projeto é um trabalho colaborativo que ao se realizar em grupo, leva ao confronto das produções, dos conhecimentos, das pistas a explorar, das resoluções possíveis, acabando por favorecer o desenvolvimento de uma maior

segurança na produção e articulação do conhecimento e dos novos saberes. É uma formação que integra a teoria e a prática, e em que as aprendizagens são centradas em problemas que são importantes e próximos do cotidiano dos alunos, permitindo assim aprendizagens significativas.

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu em uma turma composta por 7 alunos, do sexto semestre do curso de Licenciatura em Química na disciplina de Orgânica Experimental II no Laboratório de Química Orgânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *campus* Porto Seguro. A Atividade foi realizada no primeiro trimestre de 2023 durante 12 aulas.

No primeiro momento a professora da disciplina apresentou o tema e propôs a apresentação e discussão dos seguintes artigos científicos:

- “Química Verde e a Tabela Periódica de Anastas e Zimmerman: Tradução e Alinhamentos com o Desenvolvimento Sustentável” (JUNIOR *et al.*, 2022);
- “Síntese do Ácido acetilsalicílico: Uma proposta para Laboratórios de Graduação empregando a Química Verde ” (DOMINGUES *et al.*, 2022);
- “Uma Métrica Gráfica para avaliação Holística da Verdura das Reações Laboratoriais- Estrela Verde” (RIBEIRO & MACHADO, 2010);
- “Determinação do Grau de Saponificação de Óleo Residual: Uma Experiência no Ensino de Química sob as Perspectivas CTSA e Química Verde” (MELO *et al.*, 2019);
- “Avaliando Métricas em Química Verde de Experimentos Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas no Ensino Médio” (SANTOS *et al.*, 2021).

Além disso, fomos apresentados ao Ambiente Temático Virtual de Química Verde (ATV-QV), Quimidex (1999). O ATV-QV oferece materiais de apoio que relacionam conteúdos de química com os princípios da Química Verde. Ele analisa o

uso de substâncias tóxicas em reações químicas, promovendo reflexões sobre rotas mais sustentáveis. O ATV-QV também aborda segurança ambiental e laboratorial e está disponível no site do Quimidex, conta com exemplos como a síntese de ésteres, biodiesel, sabão e ácido adípico.

No segundo momento foi proposto à turma a criação de um projeto sobre a síntese do AAS utilizando os princípios da Química Verde para otimizar o processo tendo como base o artigo dos autores Da Luz *et al.* (2019) “Avaliação e otimização das condições de obtenção do ácido acetilsalicílico para fins didáticos”. A turma foi dividida em três grupos, cada grupo sendo responsável por investigar uma das condições propostas no projeto.

A seguir será apresentado a visão geral do projeto. Os parâmetros de concentração do catalisador e tempo foram variados na tentativa de melhor adequação aos princípios da Química Verde (Tabela 1).

Tabela 1- Condições reacionais aplicadas à síntese do ácido acetilsalicílico.

	Ácido Salicílico	Anidrido Acético	Acetato de sódio Catalisador	Tempo
* Experimento 1	2g	5mL	0,4g	20 min
Experimento 2	1g	2,5mL	0,2g	20 min
Experimento 3	2g	5mL	0,2g	20 min
Experimento 4	1g	2,5mL	0,2g	10 min
Experimento 5	1g	2,5mL	0,2g	40 min

*Iguar ao artigo Da Luz *et al.* (2019).

O projeto foi estruturado pensando na incorporação dos seguintes princípios da Química Verde:

- Ao substituir o catalisador (ácido sulfúrico) por um menos tóxico e mais seguro (acetato de sódio) aplicou-se o Princípio 5 da Química Verde: “Solventes e Auxiliares mais Seguros”, e o Princípio 12: “Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes”, uma vez que o ácido sulfúrico pode causar queimaduras graves na pele.
- Ao reduzir os reagentes pela metade buscou-se incorporar o princípio 1- prevenção.
- Ao reduzir o catalisador em 50% visou-se incorporar o princípio 1-prevenção.
- Quanto à variação do tempo buscou-se a incorporação do princípio 6- Busca pela eficiência energética.

A escolha pela síntese do AAS baseou-se na proposta do plano de ensino da disciplina. Além disto, não foram encontrados na literatura trabalhos sobre a síntese do AAS via catálise básica usando a incorporação dos princípios e das métricas da Química Verde, este seria portanto o diferencial deste trabalho.

No terceiro momento, ao fazer as análises dos experimentos usando as métricas da Química Verde, os discentes avaliaram a melhor condição entre os procedimentos analisados.

No quarto momento, foi aplicado um formulário online com as seguintes questionários:

1. Você já conhecia a abordagem da Química Verde?
2. Como você avalia sua experiência com a Química Verde?
3. A abordagem da Química Verde te proporcionou um contexto de desafio?
4. Enquanto futuro docente, você pretende aplicar a abordagem da Química Verde em sala de aula?

4.1 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A seguir serão descritos os procedimentos experimentais realizados durante a execução do projeto na disciplina de Química Orgânica Experimental II.

4.2 SÍNTESE DO ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

O ácido salicílico, 1g ou 2g, foi transferido para um erlenmeyer de 125 mL, em seguida adicionado 5,0mL ou 2,5mL de anidrido acético e 5 gramas de acetato de sódio. O frasco foi agitado suavemente até dissolver o AS. Em seguida aquecido cuidadosamente em um banho maria em a 80°C ou 40°C, por 10, 20 ou 40 minutos. Após o período da reação o frasco foi resfriado até a temperatura ambiente, adicionado 20 mL de água com posterior filtração a vácuo.

4.3 TESTE DE PUREZA COM CLORETO FÉRRICO

Cerca de 0,1g da amostra foi dissolvida em 10 mL de etanol e adicionada 1 a 3 gotas da solução de cloreto férrico a 1%.

4.4 DETERMINAÇÃO DO PONTO DE FUSÃO

A metodologia empregada para determinação do ponto de fusão consistiu inicialmente na preparação da amostra, a qual foi inserida em um tubo capilar selado, que foi montado em um aparelho de ponto de fusão. O aquecimento da amostra foi realizado gradualmente, enquanto era observada através da lente do equipamento. O ponto de fusão foi determinado pela temperatura na qual a substância começou a derreter, e este valor foi registrado como o ponto de fusão da amostra. Este procedimento foi repetido três vezes para cada amostra, e a média dos valores obtidos foi calculada para garantir a precisão dos resultados.

4.5 MÉTRICAS DE MASSA

As fórmulas utilizadas para os cálculos das métricas de massa clássicas e da Química Verde:

- a) Fórmula Cálculo Eficiência de Massa

$$ME = \frac{m \text{ produto principal}}{\Sigma m \text{ todos os reagentes}} \times 100$$

b) Fórmula Fator E

$$\text{Fator E} = \frac{m \text{ resíduos totais}}{m \text{ produtos}}$$

c) Fórmula Economia Atômica

Seja a reação: $A + B \rightarrow C + D$

$$EA = \frac{M(C)}{M(A+B)} 100\%$$

d) Cálculo de rendimento

$$\% \text{rendimento} = \frac{\text{rendimento real}}{\text{rendimento teórico}} \times 100\%$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE MECANÍSTICA DA REAÇÃO ESTUDADA

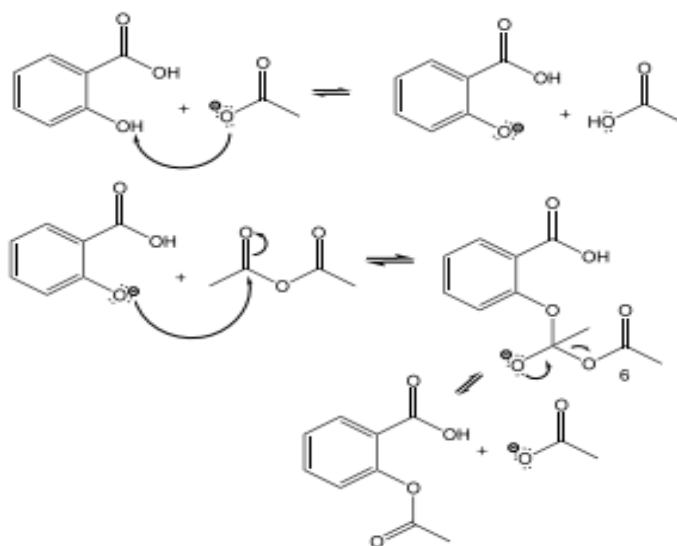
A reação de acetilação se apresenta como uma das mais importantes reações na síntese orgânica, tendo em vista a eficiência do grupo acetil na proteção de grupos funcionais como álcoois, fenóis e aminas (ANBU *et al.*, 2019).

Ao propor o experimento da acetilação do ácido salicílico em aulas de Química Orgânica Experimental, é viável retomar conceitos químicos previamente abordados durante o curso, como a força de ácidos e bases, bem como o caráter nucleofílico ou eletrofílico de espécies químicas. A abordagem da síntese do AAS está inserida no tema “Reações de ácidos carboxílicos e derivados” (SOLOMONS *et al.*, 2018). Ao se discutir o mecanismo dessa reação, demonstra-se que o processo ocorrerá via adição-eliminação (SOLOMONS *et al.*, 2018). Além disso, é possível enfatizar a necessidade do catalisador na reação, evidenciando sua finalidade.

No presente trabalho, avaliou-se a reação sob catálise de caráter básico usando o acetato de sódio (Figura 7). Nesse caso, ocorre inicialmente a abstração

do próton da hidroxila fenólica, realizada pelo ânion acetato. Em seguida, ocorre a etapa de adição nucleofílica do anidrido, gerando o intermediário tetraédrico. No momento em que ocorre a restauração da ligação dupla entre os átomos de carbono e oxigênio, ocorre a eliminação do grupo abandonador (ânion acetato), evidenciando a restauração do catalisador (BRUICE, 2005).

Figura 6 Mecanismo da reação de obtenção do AAS com o uso do acetato de sódio.



Fonte: Domingues *et al.*, (2018)

Ao explorar cada etapa do mecanismo, foi possível compreender como ajustes nas condições reacionais influenciam diretamente o rendimento e a eficiência da síntese. Além disso, foi possível investigar formas de tornar o processo mais sustentável, minimizando o uso de reagentes nocivos e reduzindo a geração de resíduos. Dessa maneira, o estudo do mecanismo enriqueceu o aprendizado teórico e prático, bem como incentivou a reflexão sobre práticas químicas no contexto da Química Verde, e assim preparando os futuros docentes para enfrentar desafios ambientais no ensino e na pesquisa.

5.2 ANÁLISE DA VERDURA QUÍMICA

Foi determinada, a partir da estequiometria da reação do AAS, a Economia Atômica (EA) como descrito a seguir:

$$EA = \frac{MM(\text{ácido acetilsalicílico})}{MM(\text{ácido salicílico})+MM(\text{anidrido acético})} \times 100$$

A EA encontrada para a síntese do AAS foi de 75%, ela serve como parâmetro do que seria uma síntese ideal em termos de incorporação de átomos para um produto específico. Contudo, essa meta raramente é alcançada devido à necessidade de utilização de excesso de reagentes, solventes e auxiliares durante a reação, os quais previsivelmente não serão parte do produto final. Além disso, podem ocorrer reações paralelas e outras situações que impedem a máxima incorporação dos átomos dos reagentes no produto de interesse.

Os resultados para a síntese do AAS considerando as variações de parâmetros com objetivo de aumentar a verduza química referentes à primeira etapa das reações propostas no projeto estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Métricas de Massa para a síntese do ASS.

Grupo	AS (g)	Anidrido acético (mL)	Acetato de sódio (g)	Rendimento (%)	ME* (%)	Fator E	Teste com FeCl ₃
1	2,00	5,0	0,40	75,0	25,1	2,97	negativo
2	1,00	2,5	0,20	72,7	24,4	3,11	negativo
3	2,00	5,0	0,20	65,8	22,6	3,42	negativo

*ME: Eficiência de Massa; Condições reacionais: 80° C; 20 minutos. Valores de massa antes da etapa de recristalização.

Inicialmente foi reduzido pela metade todos os reagentes considerando-se o Grupo 1 para o Grupo 2 (Tabela 2), visando observar o mesmo resultado, mostrando que uso de uma menor quantidade de reagentes seria suficiente para atingir o resultado esperado e objetivos de aprendizagem. Desta forma aplicamos o Princípio 1 da Química Verde: Prevenção. Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo ou "limpá-lo" após sua geração. Já na terceira reação a quantidade do catalisador acetato de sódio foi reduzida de 0,40 g para 0,20 g, visando uma maior

economia de reagentes e com isso uma menor geração de resíduos, uma vez que o catalisador homogêneo é descartado ao final do processo, aqui também usamos o Princípio 1 da Química Verde: Prevenção.

Para a reação do Grupo 2 o resultado foi considerado satisfatório, pois a alteração nas proporções de todos os reagentes, como esperado, não provocou uma redução significativa na qualidade dos resultados. Já quando a quantidade do catalisador foi reduzida, Grupo 3, foi observado um menor rendimento, passando de 75,0% para 65,8%, e também um aumento do Fator E, algo indesejado, pois quanto maior este parâmetro mais resíduo é formado para cada grama de produto principal obtido.

Segundo Machado (2014), o rendimento das reações químicas é considerado aceitável quando variam entre 60- 70% e bom entre 70-80%. Diante disso, ao avaliar o rendimento, nota-se que as sínteses dos grupos 1 e 2 obtiveram um bom rendimento, enquanto o grupo 3 foi considerado aceitável.

Foi observado também uma redução da ME, ou seja, uma menor incorporação das massas dos reagentes no produto principal. Vale ressaltar que todos os grupos apresentaram um valor relativamente baixo de ME, isso se deve ao excesso de anidrido acético em uso na reação e a formação de coproduto e resíduos. Lenardao *et al.* (2003) aponta que as reações de acilação de uma maneira geral, possuem baixa incorporação de átomos no produto desejado.

No Grupo 2 a ME foi 24,4% e o Fator E foi 3,11. Isso significa dizer que apenas 24,4% dos átomos dos reagentes foram incorporados ao produto principal, sendo que o restante passou a compor produtos secundários e resíduos. Já o Fator E, mostra que, para cada 1,0 g de produto principal produzido, 3,11g de resíduos foram gerados, logo quanto menor o fator E menor o número de resíduos gerados no processo. Como nesse grupo todos os reagentes estavam divididos pela metade e os resultados estão muito próximos do Grupo 1, pode-se considerar uma boa estratégia para a redução de resíduos no processo. Desta forma, para as próximas

reações optamos por manter a condição reacional do Grupo 2: 1 g de ácido salicílico e 0,2 g de acetato de sódio.

É importante considerar que os dados experimentais de ambas as sínteses revelaram uma eficiência de massa, e conseqüentemente, uma incorporação de átomos, significativamente inferior àquela prevista a priori pela Economia Atômica (75%) na MV. Isso se deve ao fato de que a EA prevê qual poderá ser o máximo de átomos de reagentes a ser incorporado no produto, dependendo da natureza da reação, sendo que as reações químicas de substituição, de maneira geral, possuem baixo aproveitamento dos reagentes (MACHADO, 2014).

Da Luz *et al.* (2019) avaliaram a síntese do AAS utilizando como catalizador o ácido sulfúrico, a temperatura de 80°C por um período de 20 minutos e obtiveram um rendimento de aproximadamente 77%, ME 24% e Fator E 3,10, sendo observado resultado negativo para o cloreto férrico. Ao comparar os resultados encontrados neste trabalho com os valores do artigo, nota-se valores muito próximos, considerando que a reação foi feita na mesma temperatura e também com o mesmo período de reação, 20 minutos.

Considerando ainda os resultados da Tabela 2, todos os testes com cloreto férrico foram negativos, isso demonstra que todo o ácido salicílico foi consumido na reação, é um resultado desejável e esperado. De acordo com Silva e Marins (2010) o AS possui um grupo fenólico em sua estrutura química, forma complexos de cor vermelho ao violeta quando reagem com íons metálicos de Ferro III, observado nos testes positivos (+). Enquanto que esta complexação não ocorre com o AAS, pois este não possui um grupo fenólico. Neste caso a solução fica amarela (coloração da solução original do FeCl₃ (1%), visto nos testes negativos (-).

A seguir serão apresentados os resultados para a síntese do AAS referente à segunda etapa das reações propostas no projeto (Tabela 3). Visando incorporar o Princípio 6 “Busca pela Eficiência de Energia”, foi realizada uma síntese com um menor período reacional, 10 minutos, e para comparação e verificação da influência

desse parâmetro sobre as métricas de massa foi realizada também a síntese no período de 40 minutos.

Tabela 3 – Síntese do AAS com a variação do tempo reacional.

Grupo	Tempo (min.)	Rendimento (%)	Eficiência de Massa (%)	Fator E	Teste com FeCl ₃
1	10	76,6	25,6	2,90	negativo
2	20	72,7	24,4	3,11	negativo
3	40	74,3	24,9	3,02	negativo

*EM: Eficiência de Massa; Condições reacionais: massa de ácido salicílico 1 g; anidrido acético 2,50 mL; acetato de sódio 0,2 g; 80° C.

Surpreendentemente o Grupo 1 mostrou o melhor resultado com relação ao rendimento, fator E e ME. O período reacional de apenas 10 minutos foi eficiente para alcançar um bom resultado, e resulta em uma menor geração de resíduos ao final do processo.

Da Luz *et al.* (2019), em seu estudo investigando a síntese do AAS a temperatura de 80°C e utilizando o ácido sulfúrico como catalisador, avaliou o tempo 10 minutos e encontrou um rendimento de 63,00%, fator E 4,06 e ME de 20%. Os autores não avaliaram a condição de 40 minutos. O presente experimento apresentou melhores valores para o rendimento, fator E e Eficiência de Massa. O autor também reporta para esta condição teste positivo para o cloreto férrico, indicando a presença do ácido salicílico e portanto uma reação incompleta. Portanto o uso do acetato de sódio como catalisador mostrou-se mais eficiente para a reação, além de tratar-se de um reagente menos tóxico e mais seguro, estando de acordo com o Princípio 5 da Química Verde: “Solventes e Auxiliares mais Seguros”, a qual refere-se ao uso de substâncias mais seguras e também o Princípio 12: “Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes”, uma vez que o ácido sulfúrico pode causar queimaduras graves na pele.

Na Tabela 4 são apresentados os valores dos pontos de fusão para a primeira e segunda batelada de reações.

Tabela 4 - Pontos de fusão para os produtos obtidos nas sínteses do AAS.

Primeira batelada de reações	Ponto de fusão	Segunda batelada de reações	Ponto de fusão
Grupo 1	122-129 °C	Grupo 1	128-141 °C
Grupo 2*	127-140 °C	Grupo 2*	127-140 °C
Grupo 3	125-138 °C	Grupo 3	122-132 °C

*O grupo 2 da Primeira e Segunda batelada referem-se à mesma reação.

Segundo Pavia *et al.* (2009), a temperatura de fusão do AAS corresponde a 135-136°C. Dessa forma, todos os resultados na determinação do ponto de fusão apresentaram resultados abaixo do esperado considerando-se o limite inferior. Silva (2012), atribui este abaixamento da T.F. à presença de “impurezas” no produto final, provavelmente, ocasionados pela formação de subprodutos na reação: traços de ácido salicílico que não reagiu ou que se formou por hidrólise; fatores como a temperatura e o ambiente; materiais usados para o procedimento de síntese e a pureza dos reagentes.

Importante observar que as alterações encontradas para o rendimento, Fator E e Eficiência de Massa seguem um padrão, ou seja, para uma determinada condição a otimização do rendimento proporciona um menor Fator E e maior Eficiência de Massa, no entanto a importância desses parâmetros reflete a identidade da reação em si, intrinsecamente falando, é válida para mensurar de forma sistemática e holística a reação como um todo e seu uso é válido para comparação com outros processos e formas de obtenção do mesmo produto considerando-se o uso de diferentes reagentes e outros materiais de partida.

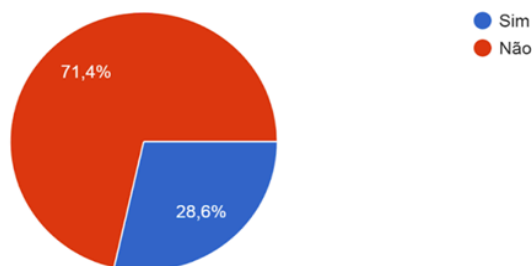
5.3- ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO

A seguir serão apresentados os gráficos com os resultados do questionário aplicado aos discentes.

Gráfico 1- Análise quanto ao conhecimento da QV.

1. Você já conhecia a abordagem da Química Verde?

7 respostas



A maioria dos futuros docentes (71%) não tinha conhecimento prévio sobre a Química Verde. Isso reforça a ideia de que essa abordagem ainda não é amplamente ensinada ou discutida nas instituições de ensino, apesar de seu crescente reconhecimento na comunidade científica e na indústria, o que se percebeu ao longo da pesquisa, visto a surpresa e estranhamento da maioria ao serem introduzidos aos conceitos primordiais da QV como verdura química e métricas holísticas.

Almeida *et al.* (2019) em seu trabalho intitulado “Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: Mapeamento e importância na prática docente” fizeram um levantamento de dados (quadro 3) do cenário da educação em Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química ofertados nas instituições públicas de ensino superior do país. Ressalta-se que algumas IES ofertam a Química Ambiental seja como optativa ou como obrigatória, porém não possui a mesma definição da Química Verde.

Quadro 3 Levantamento por região sobre a presença de disciplinas em Química Verde nos cursos de licenciatura em química pesquisados.

Regiões	IES Pesquisadas	IES que Oferta a Química Verde
Sudeste	21	6
Sul	25	1
Centro-Oeste	21	0
Norte	18	0
Nordeste	32	1
Total	117	8

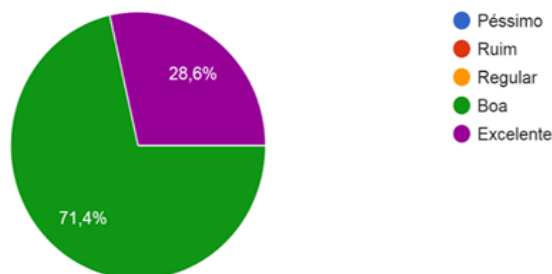
Fonte: Almeida *et al.* (2019)

Observa-se, portanto, que as disciplinas que abordam Química Verde, assim como os cursos de licenciatura que oferecem essa disciplina separadamente, são extremamente raros no país. Por outro lado, as disciplinas de Química Ambiental (que não compartilham a mesma definição de Química Verde), quando oferecidas como optativas, não são vistas como fundamentais para a formação dos futuros professores de química.

Gráfico 2- Análise da experiência com a QV

2. Como você avalia sua experiência com a Química Verde?

7 respostas



Os resultados sugerem que a maioria dos participantes tem uma boa compreensão dos conceitos de Química Verde e pode ver o valor de sua aplicação

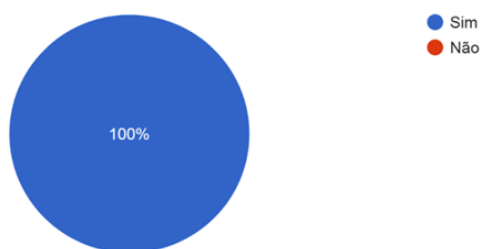
prática, mas que há uma margem de melhora para que mais alunos passem a considerar essa experiência como "ótima". A predominância de uma avaliação "boa" sugere que a maioria dos participantes reconhece o valor da Química Verde, mas não tem um entendimento ou prática suficientemente avançada, possivelmente devido à falta de ênfase no tema dentro das instituições de ensino. Portanto, é necessário uma inclusão mais ampla da Química Verde nos currículos.

As Instituições de Ensino necessitam ser pioneiras na divulgação da Química Verde, pois a formação de profissionais cada vez mais conscientes dos problemas ambientais e das possíveis soluções, estimulará procedimentos mais limpos, uma menor geração de efluentes, um ganho energético e econômico, a criação de novas metodologias analíticas, a redução da utilização de solventes orgânicos, ou seja, será adquirida uma postura de prevenção à poluição o que por sua vez gera procedimentos químicos seguros, limpos e em consonância com a preservação ambiental (SERRÃO E SILVA, 2010, p. 11).

Dessa forma, as Instituições de Ensino desempenham um papel fundamental na transição para uma química mais sustentável. Ao educar e capacitar os profissionais do futuro com os princípios da Química Verde, elas não só contribuem para a preservação ambiental, mas também para o desenvolvimento de tecnologias e processos que podem transformar a indústria química, tornando-a mais limpa, segura e sustentável.

Gráfico 3- Análise quanto ao desafio proporcionado pela QV.

3. A abordagem da química verde te propiciou um contexto de desafio?
7 respostas

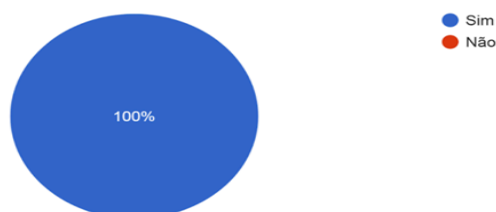


A unanimidade na percepção de desafio destaca a necessidade de inovação no ensino de Química. Implementar práticas de Química Verde pode exigir

mudanças substanciais nos métodos de ensino, nos materiais e nos processos experimentais, o que pode ser visto como um desafio para quem está acostumado a métodos tradicionais. A Química Verde frequentemente aborda problemas ambientais e de sustentabilidade que têm uma relevância direta no mundo real, isso pode tornar o aprendizado mais significativo ao conectar conceitos químicos com questões do cotidiano do aluno. Embora esse campo de pesquisa possa ser desafiador, a abordagem proativa para superar esses desafios pode levar a avanços significativos e a um ensino mais eficaz e sustentável.

Gráfico 4- Análise quanto a aplicação da QV no ensino.

4. Enquanto futuro docente, você pretende aplicar a abordagem da química verde em sala de aula?
7 respostas



O resultado indica que há uma consciência clara sobre a importância da Química Verde e um desejo de integrá-la ao ensino. Isso pode ser um reflexo de um reconhecimento crescente de que a química deve ser ensinada de forma que considere os impactos ambientais e sociais. Mesmo que a Química Verde não esteja amplamente presente nos currículos, os futuros docentes mostram um forte interesse em adotá-la. Isso pode sugerir que, embora reconheçam a falta de ensino sobre o tema, estão dispostos a buscar recursos, materiais e métodos para incorporar esses princípios em suas aulas.

Um curso de Licenciatura em Química visa formar profissionais que atuarão diretamente na formação de pessoas conscientes, reflexivas e cidadãos através do espaço escolar. O uso das filosofias da Química Verde nas aulas desses futuros profissionais, são de extrema importância, podendo ser uma ferramenta de ensino capaz de minimizar o abismo entre os conteúdos ensinados em sala de aula sobre Química e o meio ambiente (SANTOS; ROYAL, 2018).

Embora esses dados reflitam um cenário muito promissor para a disseminação da Química Verde no ensino, para transformar essa intenção em realidade, é essencial que haja apoio institucional, materiais didáticos e formação contínua para que esses futuros docentes possam implementar de forma eficaz essa abordagem em suas aulas.

6. CONCLUSÕES

Com base nos objetivos alcançados, pode-se concluir que a incorporação dos Princípios da Química Verde no ensino de Química, aliada a uma abordagem prática em laboratório, proporcionou uma aprendizagem significativa. A realização da síntese do ASS, com foco na otimização dos parâmetros reacionais visando à sustentabilidade, não apenas consolidou o entendimento dos aspectos mecanísticos da reação, mas também promoveu reflexões importantes sobre os impactos ambientais dos processos químicos.

Ao contextualizar o conteúdo de Química Orgânica II com a prática experimental, foi possível vincular teoria e prática de forma efetiva, oferecendo aos discentes a oportunidade de analisar criticamente como ajustes nos parâmetros reacionais se alinham com os princípios da Química Verde. Essa abordagem não só ampliou a compreensão científica dos alunos, mas também os encorajou a pensar de maneira crítica, reflexiva e criativa sobre como tornar processos químicos mais sustentáveis.

Além disso, a adoção de metodologias ativas, como a aprendizagem baseada em projetos (pedagogia de projetos), permitiu que os alunos assumissem o papel principal no processo de ensino-aprendizagem, investigando e propondo soluções para problemas reais. Ao analisar e otimizar parâmetros reacionais, eles desenvolveram habilidades práticas, científicas e reflexivas, enquanto compreenderam a importância da Química Verde como uma ferramenta para resolver problemas de sustentabilidade.

Por fim, ao proporcionar uma aprendizagem prática e reflexiva, os futuros docentes desenvolveram uma visão mais crítica sobre a importância da Química no

cotidiano, preparando-se para atuar como agentes formadores de cidadãos conscientes. Dessa forma, o curso de Licenciatura em Química, ao incorporar as filosofias da Química Verde, torna-se um ambiente propício para o desenvolvimento de uma educação que não apenas ensina conteúdos, mas também que inspira uma atitude cidadã e responsável diante dos desafios ambientais do século.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Q. A. R.; SILVA, B. B.; SILVA, G. A. L.; GOMES, S. M. S.; GOMES, T. C. **Oficina temática de experimentos em química: Repensando o ensino de química de forma sustentável.** Revista Extensão e Cidadania. 5(9), 21-35, 2018.

ALMEIDA, Q. A. R.; SILVA, B. B.; SILVA, G. A. L.; GOMES, S. S.; GOMES, 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 Matemática, 15(34), 178-187, 2019.

ANASTAS, P. T & WARNER, J.C. **“Green Chemistry theory and Practice”**, cit, pag. 30 University Press, Oxford, 1998.

ANBU, N.; NAGARJUN, N.; JACOB, M.; KALAIARASI, J. M. V. K.; DHAKSHINAMOORTHY, A. **Acetylation of alcohols, amines, phenols, thiols under catalyst and solvent-free conditions.** Chemistry, 1(1), 69-79, 2019.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**, 4^a ed., Bookman: Porto Alegre, 2011.

BOWERS, J. **Sustainability and environmental economics.** Harlow, England: Addison, Wesley, Longman, 1997.

BRASIL. **Lei n. 11.936, de 14 de maio de 2009.** Proíbe a fabricação, a importação, a exportação, a manutenção em estoque, a comercialização e o uso de diclorodifeniltricloreto (DDT) e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, 14 maio 2009. Disponível em:<
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11936.htm>. Acesso em: 15 de julho, 2023.

BRUICE, P. Y. **Química Orgânica**, v. 2. 4ª ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2005.

CANN, M. C.; CONNELLY, M. E. **Real-Word Cases in Green Chemistry**, Washington-DC: American Chemical Society, 2000.

CALVO-FLORES, F. G. **Parámetros para el análisis de las reacciones en química sostenible**. Química y Medio Ambiente, n. 105, p.42-49, 2009.

CLARK, J.; MACQUARRIE, D. **Handbook of Green Chemistry and Technology**, Ed. Blackwell Science Ltd., 2002, p.10-27.

DAVIS, J. H.; FOX, P. A. **From curiosities to Commodities: Ionic Liquids Begin the Transition**. Chem. Comm. 11, 1209-1212, 2003.

DA SILVA, F. M.; LACERDA, P. S. B.; JÚNIOR, J. J. **Desenvolvimento sustentável e química verde**. Quím. Nova 2005, 28, 1.

DRATHS, K. M.; & FROST, J. W. **In Green Chemistry, Frontiers in Benign Chemical Synthesis and Processes** (Anastas, P. T., & Williamson, T. C. eds). Oxford University Press, Oxford, 1998.

FARIAS, L. A.; FÁVARO, D. I. T. **Vinte Anos de Química Verde: Conquistas e Desafios**. Química Nova, v. 34, n. 6, p.1089-1093, 2011.

FRASER, M. T. D.; GONDIM, S. M. G. **Da fala do outro ao texto negociado: discussões sobre a entrevista na pesquisa qualitativa**. Paidéia, v. 14, n. 28, p.139 -152, 2004.

LANCASTER, M. **Principles of Sustainable and Green Chemistry**. Green Chem., 2002, 2, G65.

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F.; SILVEIRA, C. C. **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.

LOPES, I. T. P. **Gestão de Risco de Desastres: Integrando os Riscos de Acidentes Industriais à Gestão Territorial**. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Coppe, Ufrj, Rio de Janeiro, 2017. Cap. 1.

LUZ, L. T. S., *et al.* **Avaliação e Otimização das Condições de Obtenção do Ácido Acetilsalicílico para fins Didáticos**. Educ. quím, Ciudad de México, v. 30, n. 2, p. 54-69, 2019. Disponível em:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2019000200054&lng=es&nrm=iso. Acessado em 28 abr. 2024. Epub 15-Nov-2019.

<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.67393>.

MACHADO, A. A. S. C. A. **Da gênese ao Ensino da Química Verde**. Química Nova, v. 34, n.3, p.535-543, 2011a.

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

MACHADO, A. A. S. C. A. **Química Verde uma Mudança Sistêmica da Química**. Revista de Química Industrial, v. 34, n. 3, p. 535-543, 2011b.

MACHADO, A. A. S. C. A. **Métricas da Química Verde – A produtividade Atômica**. Química, out/dez. 2007.

MERCER, S. M.; ANDRAOS, J.; JESSOP, P. G. **Choosing the Greenest Synthesis: A Multivariate Metric Green Chemistry Exercise**. Journal of Chemical Education, v. 89, n. 2, p. 215-220, 2012.

MINEIRO, M.; SILVA, M. A. A.; FERREIRA, L. G. **Pesquisa Qualitativa e Quantitativa**. Momento - Diálogos em Educação, [S.L.], v. 31, n. 03, p. 201-218, 23 nov. 2022. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/momento.v31i03.14538>.

PAVIA, D.L.; LAPMAN, G.M; KRIZ, G. Z. **Química orgânica experimental**. Porto Alegre. Bookmam. Segunda edição. 59-67, 2009.

PEREIRA, K.M. **Inserção dos princípios da Química Verde em uma disciplina experimental sob o enfoque Ciência-Tecnologia Sociedade.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil, 2018.

POLIAKOFF, M & ANASTAS, P. **Green Chemistry: Science and Politics of Change.** Nature, 2001, 413, 257-262.

PRADO, A. G. S. **Química verde, os desafios da química do novo milênio.** Quím. Nova 2003, 26, 5.

RAMOS, M. A. F. D. C. **Química Verde – potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário.** 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química e Bioquímica, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

SANTOS, D.M.; ROYAL, M.R. **Análise da percepção dos alunos sobre a química verde e a educação ambiental no ensino de química.** Revista Debates em Ensino de Química, v. 4. n. 2. p.142-164, 2018.

SHELDON, R. A. J. **Catalysis: The Key to Waste Minimization.** Tech. Biotechnol., 1997, 68, 381.

SILVA, A.C.Z.; MARINS, F. A. **Síntese e Caracterização do Ácido Acetilsalicílico.** 2010. Acesso em Abril, 2024. Disponível em:
<http://docslide.com.br/documents/relatorio-4-sintese-e-caracterizacao-do-acido-acetil-salicilico.html>

SILVA, J. **Recristalização e Ponto de fusão.** LQO, 2012. Acesso em Abril, 2024. Disponível em::
<https://pt.scribd.com/document/109397038/Recristalizacao-e-Ponto-de-Fusao-LQO-2-09-pdf>.

SILVEIRA, A. D. P. **Química Verde: Princípios e Aplicações.** 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Bacharel, COQUI, UFSJ, São João Del-Rei - Mg, 2015.

SERRÃO, R. G. S.; SILVA, M. D. B. S. **A Química Verde presente nos artigos da Revista Química Nova: A divulgação científica dos últimos 10 anos.** In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 15, 2010, Brasília. Anais eletrônicos... Brasília: SBQ, 2010. p. 11. Disponível em <http://www.s bq.org.br/eneq/xv/resumos/R0184-2.pdf>.

SNEADER, W. **Drug Discovery: The evolution of modern medicines.** John Wiley & Sons, Inc., New York, pp.1, 1985.

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C.; SNYDER, S. A. **Química Orgânica**, 12^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

TROST, B. M. **The Atom Economy: a search for synthetic efficiency.** Science, 1991, 254, 1471.

VAZ, C. R.; GIROTTO JR, G.; PASTRE, J. C. **A ADOÇÃO DA QUÍMICA VERDE NO ENSINO SUPERIOR BRASILEIRO.** Química Nova, [S.L.], v. 47, n. , p. 1-10, 26 out. 2024. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230117>.

WARNER, J. C.; CANNON, A. S.; DYE, K. M. **Environmental Impact Assessment Review.** 2004, 24.

ZANGADE, S. B.; MOKLE, S. S.; SHINDE, A. T.; VIBHULE, Y. B. **Green Chemistry Letters and Reviews.** 2013, 6, 2.