

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE QUÍMICA

CAMILA CONCEIÇÃO DA CRUZ

**QUÍMICA VERDE E SUSTENTABILIDADE:
CONTRIBUIÇÕES PARA A FORMAÇÃO INICIAL DE
PROFESSORES DE QUÍMICA**

**Rio de Janeiro
2025**

Camila Conceição da Cruz

**QUÍMICA VERDE E SUSTENTABILIDADE:
CONTRIBUIÇÕES PARA A FORMAÇÃO INICIAL DE
PROFESSORES DE QUÍMICA**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Química, Instituto de
Química, Universidade Federal
do Rio de Janeiro, como requisito
necessário à obtenção do título
de Mestra em Ensino de Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana Milanez

CIP - Catalogação na Publicação

C957q Cruz, Camila Conceição da
Química verde e sustentabilidade: contribuições para a formação inicial de professores de química / Camila Conceição da Cruz. -- Rio de Janeiro, 2025. 95 f.

Orientadora: Juliana Milanez.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Programa de Pós Graduação em Ensino de Química, 2025.

1. Ensino de Química. 2. Química Verde. 3. Sustentabilidade. 4. Formação de professores. I. Milanez, Juliana, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

Camila Conceição da Cruz

**QUÍMICA VERDE E SUSTENTABILIDADE: CONTRIBUIÇÕES PARA A
FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE QUÍMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito necessário à obtenção do título de Mestra em Ensino de Química.

Rio de Janeiro, 28 de março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Juliana Milanez (orientadora)

Instituto Multidisciplinar de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof^a. Dr^a. Rozana Gomes de Abreu

Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Yuji Nascimento Watanabe

Centro de Formação de Professores – Universidade Federal do Recôncavo
Baiano

Dedico essa dissertação às
minhas sobrinhas Isabela e
Lavínia, que a educação
seja uma inspiração na
vida de vocês.

AGRADECIMENTOS

Começo este agradecimento pensando o quanto minha ausência foi sentida e compreendida pela minha família. São meus maiores torcedores e sem eles eu não teria conseguido chegar até aqui. À minha mãe, que nunca deixou de orar por mim e abençoar todo caminho que trilhei até a conclusão deste mestrado. Ao meu irmão, que sempre fez parte de todas as lutas que travei nessa vida, e se ele não tivesse derrubado os muros no meu caminho, tenho certeza de que pulá-los teria dificultado muito meu progresso. Ao meu amado companheiro nessa jornada, Gabriel, saiba que você foi meu porto seguro, foi a mão que me acalentou, sustentou, alimentou e aplaudiu cada dia que fiquei nesse mestrado. A vocês, entrego a minha gratidão por tudo!

Como estudante egressa, passei todas as dificuldades de uma mudança, mas não posso negar todo apoio e acolhimento que recebi. Sou grata aos meus colegas desta jornada, que entraram nesta loucura que é o mestrado e estivemos apoiando uns aos outros nesse processo tão difícil e tortuoso. Aos professores Rodrigo Volcan, Cássia Turci, Antônio Carlos Guerra e Paula Lessa, que mesmo percebendo o quão difícil foi descobrir o mundo da química de forma ampla e tão diferente do que eu conhecia, tiveram toda paciência para entenderem minhas dúvidas e saná-las, sempre me impulsionando a seguir em frente. Um agradecimento em especial ao professor Waldimir Neto (Barroco), por sua humanidade e acolhimento em um dos momentos mais difíceis que vivi neste mestrado. O senhor foi mais que um professor, foi meu ombro amigo, meu psicólogo e mostrou-se ser uma persona de qualidade. O mundo precisa de mais pessoas como o senhor. Aos demais professores do PEQui, agradeço o conhecimento transmitido.

Deixo aqui meu carinho eterno ao professor Rodrigo de Paula, que foi uma mãe durante a minha graduação na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, e como uma boa mãe não abandonou seus filhos, e ao professor Yuji Watanabe, que me incentivou a entrar nessa loucura. Só não me avisou que o mestrado era a fase mais difícil do castelo 8 no Mario World.

À minha orientadora, que aceitou esse desafio que é me orientar e perceber que era uma mistura de presente de grego com cavalo de Troia, e ainda assim confiou

em mim e não desistiu de seguir comigo nesse caminho. Agradeço pelos “gritos” silenciosos e abraços virtuais.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

CRUZ, Camila Conceição da. **Química Verde e Sustentabilidade: Contribuições para formação inicial de professores de Química**. Rio de Janeiro, 2025. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2025.

A Química Verde (QV) e a sustentabilidade emergem como conceitos fundamentais no contexto educacional contemporâneo, especialmente em um mundo cada vez mais impactado pela degradação ambiental e pelas mudanças climáticas. A partir da compreensão dos princípios da QV e do que preconiza a sustentabilidade, acredita-se que ambas podem ser inseridas no percurso formativo de futuros professores na perspectiva de contribuírem para execução de práticas sustentáveis e etapas de implementação de Educação Ambiental (EA) de maneira interdisciplinar nos cursos de formação inicial. Dessa forma, saberes específicos não são desconsiderados, buscando incorporar os valores socioambientais em sua complexidade na expectativa de superação da dicotomia natureza-sociedade. Diante deste contexto, esta pesquisa se desenhou a partir da seguinte pergunta: Como os princípios de QV e sustentabilidade podem contribuir para a formação de professores de Química? A proposta deste trabalho é apresentar uma alternativa para a inclusão dos princípios norteadores da QV e a importância de se debater sobre sustentabilidade na formação inicial dos professores de Química. Metodologicamente, essa pesquisa se caracteriza como qualitativa do tipo exploratória. O trabalho de pesquisa foi organizado a partir das seguintes etapas: (i) Realização de pesquisa bibliográfica sobre os conceitos e princípios de Química Verde, Educação Ambiental, Sustentabilidade e Experimentação no Ensino de Química; (ii) Análise documental das apostilas das aulas experimentais do curso de Licenciatura em Química do Instituto Multidisciplinar de Química (IMQ) do Centro Multidisciplinar UFRJ-Macaé; (iii) Planejamento e proposição de alterações dos roteiros experimentais com base nos princípios da QV e Sustentabilidade; (iv) Desenvolvimento do Produto Educacional no formato de Infográfico. A principal contribuição para o ensino da Química se dá; pela oportunidade da concretização de práticas educacionais mais sustentáveis, bem como pela oportunidade de entrelaçamentos entre a formação do educador químico a partir do olhar da QV.

Palavras-chaves: Ensino de Química; Química Verde; Sustentabilidade; Formação de Professores.

ABSTRACT

CRUZ, Camila Conceição da. **Química Verde e Sustentabilidade: Contribuições para formação inicial de professores de Química**. Rio de Janeiro, 2025. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2025.

Green Chemistry (GQ) and sustainability emerge as fundamental concepts in the contemporary educational context, especially in a world increasingly impacted by environmental degradation and climate change. By comprehending the principles of GQ and what sustainability advocates, we believe that both can be inserted into the teachers formation path, in the perspective of contributing to implementing sustainable formative practices and steps towards including Environmental Education (EE) interdisciplinarily in the initial education of teachers, in which specific knowledge is not disregarded and socio-environmental values are incorporated in its complexity, in the expectation that the nature-society dichotomy will be overcome. Given this context, this study was developed based on the following question: How can the concepts of GC, EE and sustainability, together with experimentation, contribute to the formation of Chemistry teachers? The purpose of this study is to present an alternative for including GC's guiding principles and the importance of debating sustainability in the initial education of Chemistry teachers. Methodologically, this research is characterized as qualitative, of the exploratory kind. The work was organized in the following steps: (i) Bibliographical research about the concepts and principles of GC, EE, sustainability and experimentation in Chemistry's education; (ii) Documental analysis of experimental classes' handouts from the Chemistry Licentiate course of the Chemistry's Multidisciplinary Institute (IMQ), which is part of the Rio de Janeiro Federal University's (UFRJ) Multidisciplinary Center in Macaé (CM UFRJ-Macaé); iii) Planning and proposal of changes in the experimental practices from the handouts based on the principles of GC, EE and sustainability; (iv) Development of an educational product in infographic format. The main contribution for Chemistry education is the opportunity to implement more sustainable educational practices as well as the intertwining between the Chemistry teacher's formation and GC.

Keywords: Chemistry Education; Green Chemistry, Sustainability, Teacher.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CM UFRJ-Macaé - Centro Multidisciplinar UFRJ-Macaé

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

EA - Educação Ambiental

EPA - Environmental Protection Agency

EQV - Educação em Química Verde

ENEM - Exame Nacional do Ensino Médio

GCC - Green Chemistry Commission

IES - Instituição de Ensino Superior

IMQ - Instituto Multidisciplinar de Química

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry

MEC - Ministério da Educação

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

OPPT - Office of Pollution Prevention and Toxics

PEQui - Programa de Pós-graduação em Ensino de Química

PNE - Plano Nacional de Educação

PNEA - Política Nacional de Educação Ambiental

PNMC - Plano Nacional sobre Mudança do Clima

QAE-Quali - Química Analítica Experimental - Qualitativa

QGE II - Química Experimental II

QIE II - Química Inorgânica II

QOE I - Química Orgânica Experimental I

QOE II - Química Orgânica Experimental II

QV - Química Verde

SISU - Sistema de Seleção Unificada

SEMA - Secretaria Especial de Meio Ambiente

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Os 12 Princípios da Química Verde e suas justificativas.....	23
Quadro 2: Alinhamento dessa pesquisa com os ODS da Agenda 2030.....	27
Quadro 3: Protótipo do quadro utilizado para análise das aulas experimentais de Química.....	37
Quadro 4: Prática 4 - Sistema Coloidais.....	39
Quadro 5: Experimento 2 - Elementos do bloco p - Grupo 13.....	44
Quadro 6: Aula 2 - Identificação e separação dos cátions do Grupo I e II.....	49
Quadro 7: Prática 6 - Obtenção do Salicilato de metila (reação de esterificação)....	54
Quadro 8: Prática 7 - Obtenção do Acetato de n-butila (reação de esterificação)....	56
Quadro 9: Prática 5 - Destilação Simples.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linha do tempo através do estabelecimento do termo Sustentabilidade.....	20
Figura 2: 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	20
Figura 3: Princípios da Química Verde.....	22
Figura 4: Linha do tempo de desenvolvimento das propostas e dos Princípios da Química Verde.....	25
Figura 5: Parte 1 do infográfico.....	66
Figura 6: Parte 2 do infográfico.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Levantamento bibliográfico via Portal de Periódico da CAPES.....	36
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. SUSTENTABILIDADE, QUÍMICA VERDE E O ENSINO DE QUÍMICA.....	18
3. OBJETIVO.....	30
3.1. Objetivo Geral.....	30
3.2. Objetivo Específico.....	30
4. JUSTIFICATIVA.....	31
5. METODOLOGIA.....	34
5.1. Levantamento Bibliográfico.....	35
5.2. Levantamento e Análise de Dados.....	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
6.1. Disciplina Química Geral Experimental II.....	38
6.1.1. Características da Apostila QGE.....	38
6.1.2. Análise dos roteiros à luz dos princípios da QV.....	39
6.2. Disciplina Química Inorgânica Experimental I.....	43
6.2.1. Características da Apostila QIE I.....	43
6.2.2. Análise dos roteiros à luz dos princípios da QV.....	44
6.3. Disciplina Química Analítica Qualitativa Experimental.....	48
6.3.1. Características da Apostila QA-Quali.....	48
6.3.2. Análise dos roteiros à luz dos princípios da QV.....	49
6.4. Disciplina Química Orgânica Experimental II.....	53
6.4.1. Características da Apostila QOE II.....	53
6.4.2. Análise dos roteiros à luz dos princípios da QV.....	53
6.5. Disciplina Química Orgânica Experimental I.....	60
6.5.1. Características da Apostila QOE I.....	60
6.5.2. Análise dos roteiros à luz dos princípios da QV.....	60
7. PRODUTO EDUCACIONAL.....	65
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
9. REFERÊNCIAS.....	70
ANEXOS.....	76
Anexo A: Matriz curricular do curso de Química.....	76
Anexo B: Prática 4 – Sistemas Coloidais.....	77
Anexo C: Experimento 2: Elementos do bloco p – Grupo 13.....	80
Anexo D: Aula 2 – Identificação e separação dos cátions dos Grupos I e II.....	83

Anexo E: Prática 6 - Obtenção do salicilato de metila.....	91
Anexo F: Prática 6 - Obtenção do salicilato de n-butila.....	93
Anexo G: Destilação simples.....	95

1 INTRODUÇÃO

O que até pouco tempo atrás era conhecido como crise climática, hoje, mediante a tantos eventos climáticos extremos (secas, inundações, tempestades e ondas de calor) e índices de aumento do nível do mar, tornou-se uma emergência global para nós causadores e colhedores desse desafio contemporâneo. Esses eventos impactam diretamente na segurança alimentar, infraestrutura e saúde pública, com graves consequências para os ecossistemas naturais, população humana e não humana.

Partindo disso, em dezembro de 2008 foi apresentado o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) no Brasil com o intuito de mitigar tais problemas. “O Plano estrutura-se em quatro eixos: oportunidades de mitigação; impactos, vulnerabilidades e adaptação; pesquisa e desenvolvimento; e educação, capacitação e comunicação” (BRASIL, 2008) e sendo um dos seus objetivos “(...) fomentar o desenvolvimento de pesquisas científicas para que se possa traçar uma estratégia que minimize os custos sócio-econômicos de adaptação do País” (*ibidem*). Um ano após a sua apresentação, a Lei nº12.187/2009 instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima, sendo uma das suas diretrizes “a promoção da disseminação de informações, a educação, a capacitação e a conscientização pública sobre mudança do clima” (BRASIL, 2009), tendo a educação como um dos seus instrumentos de divulgação. O artigo 3 diz:

Art. 3º A PNMC e as ações dela decorrentes, executadas sob a responsabilidade dos entes políticos e dos órgãos da administração pública, observarão os princípios da precaução, da prevenção, da participação cidadã, do desenvolvimento sustentável (...) e, quanto às medidas a serem adotadas na sua execução, será considerado o seguinte:

I - todos têm o dever de atuar, em benefício das presentes e futuras gerações, para a redução dos impactos decorrentes das interferências antrópicas sobre o sistema climático;

IV - o desenvolvimento sustentável é a condição para enfrentar as alterações climáticas e conciliar o atendimento às necessidades comuns e particulares das populações e comunidades que vivem no território nacional. (*ibidem*)

Entretanto, questiona-se a efetividade da ação desta política, principalmente quando se trata da implementação de medidas de adaptação. A fragilidade das instituições ambientais, a falta de fiscalização, além da pressão dos setores econômicos que se distanciam cada vez mais das agendas ambientais, tornam-se obstáculos para a implementação de políticas ambientais de forma eficaz. É necessária uma abordagem integral e multissetorial entre o governo, setor privado, sociedade civil e comunidade educacional científica.

A pesquisa, desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-graduação em Ensino de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEQui - IQ - UFRJ), visa discutir uma alternativa para a inclusão dos princípios da Química Verde (QV) e Sustentabilidade na formação inicial dos Professores de Química.

A Química Verde (QV) e a Sustentabilidade emergem como conceitos fundamentais no contexto contemporâneo, especialmente em um mundo cada vez mais impactado pela degradação ambiental e pelas mudanças climáticas. A partir do que preconiza essas duas vertentes, acredita-se que elas podem ser inseridas numa perspectiva formativa de estudantes de graduação na execução de práticas ambientalmente corretas, mas que não alterem os conhecimentos específicos a serem transmitidos, com a expectativa de refinar a relação natureza-sociedade

A legislação ambiental brasileira, consolidada na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e reforçada pela Lei de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999), estabelece diretrizes para a educação e a conscientização sobre questões ambientais, impulsionando a integração de práticas sustentáveis nos currículos escolares (BRASIL, 1981; BRASIL, 1999). Essas leis visam fomentar uma consciência ecológica crítica e proativa entre os estudantes, preparando-os para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos e futuros.

Na formação de professores, o Plano Nacional de Educação destaca a necessidade de promover uma educação de qualidade que contemple os princípios de sustentabilidade por meio da inclusão de temas socioambientais (BRASIL, 2014, p. 01). Para o alcance desses objetivos, deve-se levar em conta que o desenvolvimento sustentável depende do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos e preconiza qualidade em vez de quantidade, além “da redução do uso de matérias-primas e produtos e o aumento da reutilização e da reciclagem” (WWF Brasil, s.d). O desenvolvimento sustentável permite que colmatemos as necessidades da geração atual sem comprometer as gerações futuras, relacionando as dimensões econômicas, sociais e ambientais, sendo indicado no parágrafo único no PNMC (BRASIL, 2009), como compromisso o dever de “(...) estar em consonância com o desenvolvimento sustentável a fim de buscar o crescimento econômico, a erradicação da pobreza e a redução das desigualdades sociais”

Diante disso, destaca-se que o foco desta pesquisa é explorar as intersecções entre a QV, a Sustentabilidade e a formação de professores, promovendo uma reflexão sobre como esses temas podem ser integrados na educação, apresentando alternativas para a inclusão dos temas norteadores nos experimentos laboratoriais, objetivando responder a seguinte pergunta: Como os princípios da QV e Sustentabilidade podem contribuir para a formação de professores de Química?

2 SUSTENTABILIDADE, QUÍMICA VERDE E ENSINO DE QUÍMICA

Já faz décadas que convivemos continuamente com a palavra *sustentabilidade*. De modo geral, de acordo com os dicionários da língua portuguesa, a palavra sustentabilidade faz referência àquilo que é sustentável, ou ainda, à qualidade, característica ou condição de sustentável, podendo ser entendida como a capacidade de sustentação e permanência de um sistema por um prazo (MEDEIROS, 2022). Atualmente, adota-se o termo como conceito e princípio.

O conceito de sustentabilidade começou a ser delineado na Conferência de Estocolmo, primeiro grande evento sobre meio ambiente realizado no mundo em junho de 1972. O termo sustentabilidade não foi definido na Declaração de Estocolmo, mas a conferência lançou as bases para seu desenvolvimento (POLICARPO, 2024a) já reconhecendo a interdependência entre o meio ambiente, a economia e a sociedade como estratégia de desenvolvimento.

Em 1973 Maurice F. Strong¹ introduz o conceito do Ecodesenvolvimento e a partir de 1974 o conceito é largamente difundido por Ignacy Sachs². Sachs (1993) apud Montibeller (1993) apresenta cinco dimensões de sustentabilidade do ecodesenvolvimento: sustentabilidade social; sustentabilidade econômica; sustentabilidade ecológica; sustentabilidade espacial; e sustentabilidade cultural.

É na década de 1980 que Lester Brown³ utiliza a palavra sustentabilidade pela primeira vez, relacionando-a à temática do desenvolvimento. Na ocasião, Brown falou sobre “comunidades sustentáveis”, que seriam aquelas capazes de satisfazer às próprias necessidades sem reduzir as oportunidades das gerações futuras. Já o termo

¹ Maurice F. Strong foi um empresário canadense e diplomata. Foi primeiro diretor executivo do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma); foi o principal organizador da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em junho de 1992, a Rio-92. Foi um dos primeiros representantes da indústria a chamar a atenção para as mudanças climáticas, estimulando governos de países desenvolvidos a assumir a responsabilidade pela degradação provocada pela industrialização. (FAPESP, 2016)

² Ignacy Sachs foi um economista polonês naturalizado francês que defendia a necessidade de um novo modelo de desenvolvimento que integrasse justiça social, proteção ambiental e progresso econômico. Foi um dos elaboradores da declaração final da Conferência de Estocolmo, e a partir de uma proposta, do então secretário da Conferência, Maurice Strong, Ignacy formulou o conceito de ecodesenvolvimento. (AMARAL, 2023)

³ Lester Brown é um ambientalista americano reconhecido como um dos mais influentes pensadores ambientais do planeta. Lester Brown acredita que a sustentabilidade é a chave para o futuro da humanidade. Ele defende uma abordagem integrada que considere os aspectos ecológicos, econômicos e sociais do desenvolvimento sustentável (POLICARPO, 2024a)

“desenvolvimento sustentável” foi primeiramente divulgado por Robert Allen⁴, no livro “How to save the world: a strategy for world conservation”, também de 1980. (POLICARPO, 2024b)

E é a partir da década de 1980 que o conceito de desenvolvimento sustentável ganha força, quando em 1983 a Comissão Mundial da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento apresentou o Relatório Brundtland - Nosso Futuro Comum. O documento apresentou algumas propostas de soluções para problemas críticos do desenvolvimento igualitário que, conseqüentemente, geram crises ambientais (*ibidem*).

A Conferência de Estocolmo e o Relatório Brundtland, lançaram as bases para a ECO-92, realizada na cidade do Rio de Janeiro em 1992. Entre os vários documentos oficiais que resultaram da ECO-92 está a Agenda 21⁵, um documento de 40 capítulos que visa instrumentalizar em escala planetária o planejamento para a construção de sociedades sustentáveis conciliando métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (BRASIL, s.d.).

A partir dos anos 2000, ainda como consequência das grandes conferências mundiais e da Agenda 21, estabelece-se a Agenda 2030 e os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (17 ODS) (SCABIN, 2022).

A Agenda 2030 apresentada como “um plano de ação para as pessoas, o planeta e a prosperidade”⁶, foi proposta em 2015, após a Conferência da das Nações Unidas realizada em Nova Iorque, onde 195 nações entraram em acordo e assinaram essa carta de intenções e compromissos organizados por meio de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (17 ODS) e 169 metas, com foco na erradicação da pobreza e na promoção de vida digna a todos até o ano de 2030.

A Figura 1 apresenta uma breve linha do tempo que denota o estabelecimento

⁴ Robert Prescott-Allen foi um renomado ambientalista, ecologista e autor canadense, conhecido por sua atuação pioneira na área de desenvolvimento sustentável e conservação ambiental. foi um dos primeiros a defender que a sustentabilidade deve ser vista como um equilíbrio entre as necessidades humanas e a capacidade do meio ambiente de sustentá-las a longo prazo. (<https://123ecos.com.br/docs/robert-prescott-allen/>)

⁵ O termo “Agenda 21” foi usado no sentido de intenções, desejo de mudança para um novo modelo de desenvolvimento para o século XXI

⁶ ONU. Nações Unidas Brasil. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 15 mar. 2025

do conceito de sustentabilidade e os grandes eventos que o difundiram, e, a Figura 2 apresenta os 17 ODS.

Figura 1: Linha do tempo através do estabelecimento do termo Sustentabilidade.



Fonte: Criação da autora

Figura 2: 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU⁷

⁷ ONU, Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acessado em: 03 set. 2024

O conceito de sustentabilidade mais difundido - principalmente considerando que o termo foi rapidamente implantado no vocabulário de empresas, organizações da sociedade civil, meios de comunicação de massa etc. (USP, s.d.) - é o que surge a partir do Relatório Brundtland, que considera que o “desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades” (WCED, 1983. p.16).

Desde então, observa-se que já surgiram inúmeras definições, que misturam os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, bem como misturam o conceito de ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável. O ponto comum em todas elas estão nas dimensões que compõem o termo sustentabilidade, já que a maioria dos estudos afirma que sustentabilidade é composta por três dimensões que se relacionam: econômica, ambiental e social.

Entretanto, de acordo com Luz (2001) *apud* Morales (2012), a ideia de desenvolvimento sustentável, da forma como é apresentada e amplamente adotada, está pautada nos princípios econômicos, relacionada a uma mudança da relação sociedade-natureza em que pese um “desenvolvimento menos agressivo em relação aos ambientes”. Concordamos com Morales (2012) que, nesse sentido, a sustentabilidade se encontra desviada de sua gênese e dos princípios do ecodesenvolvimento e orientada para lógica do mercado, ligada a uma visão pragmática e racional da natureza como meio de produção (Morales, 2012).

A perspectiva dessa pesquisa não coaduna com o conceito de sustentabilidade utilizado pela lógica da manutenção dos meios de produção e exploração da natureza para manutenção do desenvolvimento econômico a qualquer custo. Ao contrário, parte do pressuposto da complexidade intrínseca ao termo e sua essência enquanto meio possível de se mobilizar um equilíbrio para a coexistência de todas as vidas no planeta. Tenta se apropriar do conceito pelas premissas do ecodesenvolvimento e tenta resgatar o que pode ser promissor em sua aplicação como forma de contribuição para uma conscientização crítica dos problemas socioambientais da nossa era, aqui pelo viés da educação.

E é nesse contexto da sustentabilidade, do desenvolvimento sustentável e do crescimento do setor secundário que surge o conceito de Química Verde (QV).

Seu desenvolvimento, em 1993, através do programa Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição, criada nos Estados Unidos da América pela Agência de Proteção Ambiental (do Inglês *Environmental Protection Agency* - *EPA*) por meio do Office of Pollution Prevention and Toxics (OPPT, traduzido livremente para Escritório de Prevenção de Poluição e Tóxicos), introduziu, através de 12 Princípios (Figura 3), soluções inovadoras para problemas químicos industriais e aplicabilidade sustentável social.

Figura 3: 12 Princípios da Química Verde



Fonte: Criação da autora

De acordo com Anastas e Warner (1998, p.11) apud Marcelino (2023), "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". O Quadro 1 apresenta os 12 Princípios da QV tal qual proposto por Anastas e Warner em 1998.

Quadro 1: Os 12 Princípios da Química Verde e suas justificativas

Princípio	Justificativa
Prevenção	É melhor prevenir a formação de resíduos do que tratá-los posteriormente.
Economia atômica	Os métodos sintéticos devem ser desenvolvidos para maximizar a incorporação dos átomos dos reagentes nos produtos desejados
Sínteses com reagentes de menor toxicidade	Sempre que possível, as metodologias sintéticas devem ser projetadas para usar e gerar substância que possua pouca ou nenhuma toxicidade para a saúde humana e o meio ambiente.
Desenvolvimento de compostos seguros	Os produtos químicos deverão ser desenvolvidos para possuírem a função desejada, apresentando a menor toxicidade possível.
Diminuição de solventes e auxiliares	A utilização de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação etc.) deverão ser evitadas quando possível, dando preferência ao uso de substâncias inócuas no processo.
Eficiência energética	Os métodos sintéticos devem ser conduzidos sempre que possível à pressão e temperatura ambientes, diminuindo seu impacto econômico e ambiental.
Uso de matéria-prima renovável	Sempre que possível utilizar matéria-prima renovável. O uso de biomassa como matéria-prima deve ser priorizado no desenvolvimento de novas tecnologias.
Redução do uso de derivados	Uso de reagentes bloqueadores, de proteção ou desproteção e modificadores temporários deverão ser minimizados ou evitados quando possível, pois estes passos reacionais requerem reagentes adicionais e, conseqüentemente, podem produzir subprodutos indesejáveis.
Catálise	Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são superiores aos reagentes estequiométricos.
Desenvolvimento de compostos degradáveis	Produtos químicos deverão ser desenvolvidos para a degradação inócua de produtos tóxicos, não persistindo no ambiente.

Análise em tempo real para a prevenção da poluição	As metodologias analíticas precisam ser desenvolvidas para permitirem o monitoramento do processo em tempo real, para controlar a formação de compostos tóxicos.
Química segura para a prevenção de acidentes	As substâncias usadas nos processos químicos deverão ser escolhidas para minimizar acidentes em potencial, tais como explosões e incêndios.

Baseando-se nesses princípios, a QV impulsiona vários fatores importantes para a sociedade e o meio ambiente, como a inclusão rigorosa de regulamentação ambiental, preocupação com a sustentabilidade, cobrança pela sociedade no desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos e seguros, conscientização quanto aos desafios ambientais e a necessidade de encontrar soluções sustentáveis.

De modo geral, a QV possui um leque de abordagens que abrange medidas mitigatórias e suas aplicações são extensas, observando desde matérias-primas até o descarte final de produtos. De acordo com o Compromisso para a Química Verde (GCC, 2020), ao se pensar em processos químicos através dos princípios da QV, estamos levando em conta:

- Os materiais a serem utilizados, suas aplicabilidades do início ao fim, assim como possíveis danos gerados;
- A matéria-prima, desde como foram feitas até as consequências da sua produção e utilização;
- O descarte de todo material gerado do início ao fim do processo químico realizado e como evitar graves interferências ambientais.

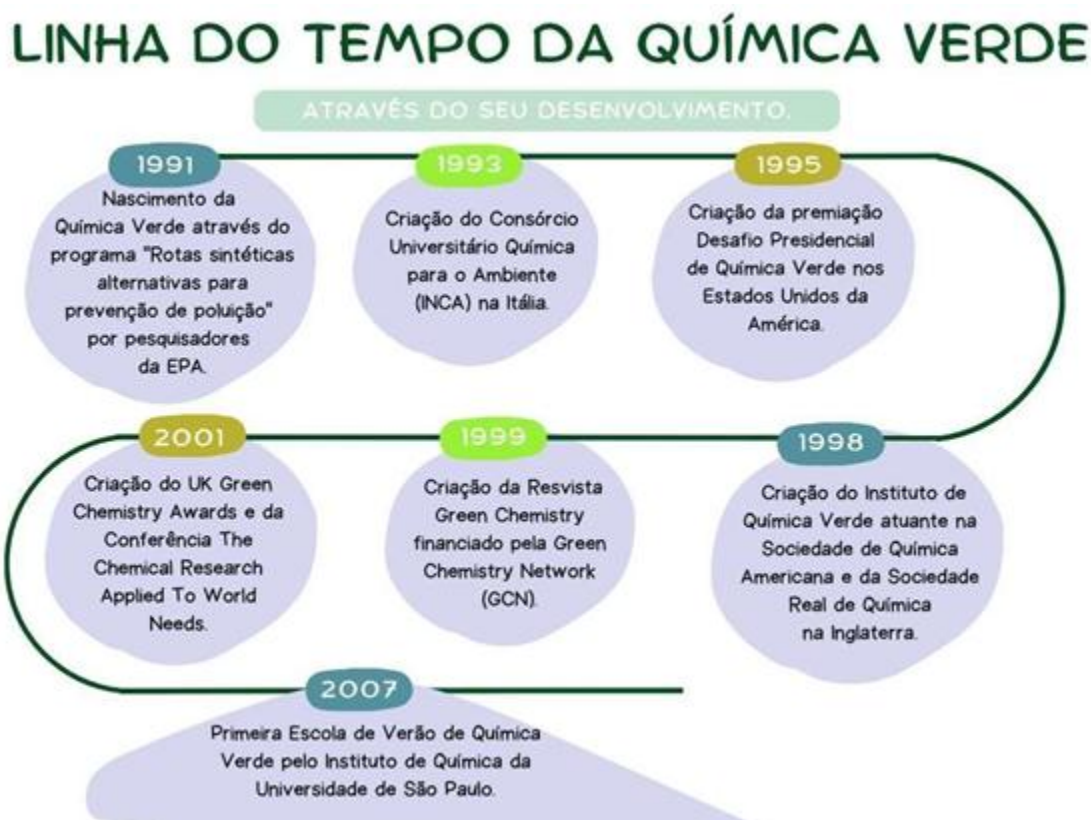
Em 2001, a IUPAC⁸ (International Union of Pure and Applied Chemistry) instituiu o termo Química Verde durante o Workshop on Green Chemistry Education como “A invenção, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas de algum modo à

⁸ A União Internacional de Química Pura e Aplicada (em inglês: *International Union of Pure and Applied Chemistry*, IUPAC) foi criada em 1919 como uma organização não governamental internacional dedicada ao avanço da química. É a autoridade reconhecida no desenvolvimento de padrões para a denominação dos elementos e compostos químicos, mediante o seu Comitê Interdivisional de Nomenclatura e Símbolos. (<https://pt.council.science/member/international-union-of-pure-and-applied-chemistry-iupac/>)

saúde humana ou ao meio-ambiente” (TUNDO, 2024, p.2).

A Figura 4 apresenta uma breve linha do tempo do histórico da implementação da QV no mundo.

Figura 4: Linha do tempo para os Princípios e Proposta da Química Verde.



Fonte: Compilação da autora

Portanto, compreende-se a QV como um campo interdisciplinar da Química que se concentra em desenvolver estratégias para processos químicos que sejam ambientalmente seguros, economicamente viáveis e socialmente responsáveis.

No campo educacional, um dos desafios da QV é a sua inserção curricular na formação de novos profissionais da Química, pois os processos formativos no ensino superior priorizam a qualidade da formação técnica e profissional sem uma preocupação com a integração de conceitos éticos e de cidadania, além de ocorrer uma morosidade na implementação de novas roupagens educacionais. Acredita-se que os princípios da QV e o conceito de sustentabilidade podem ser inseridos no percurso formativo de estudantes na perspectiva de contribuírem também para as

etapas de implementação da EA de forma interdisciplinar nos cursos de formação inicial de professores. Articulando saberes específicos de química com valores socioambientais e propondo metodologias que minimizem a geração de resíduos, é possível, criar a base para que os futuros docentes atuem como agentes transformadores na educação e tornando-os o eixo central para a promoção da conscientização ambiental.

Considerando essas questões, é importante buscar maneiras de articular esses princípios no âmbito educacional, trazendo para o percurso formativo de novos professores os conceitos e práticas dessa abordagem da química. Essa articulação, por sua vez, pode contribuir positivamente para fomentar uma cultura de sustentabilidade entre os jovens e futuros profissionais.

Cabe reconhecer que, ao se formar, o professor não sai da graduação competente em todos os aspectos da docência, mas espera-se que esteja preparado para ser um bom iniciante na carreira. Novas metodologias e abordagens educacionais no cenário de um mundo em constantes mudanças exigem do profissional docente a predisposição a novos aprendizados. Nesse sentido, no desenvolvimento desta pesquisa optou-se por trabalhar a QV e a sustentabilidade na formação docente a partir das aulas práticas de Química, já que a experimentação, enquanto método, favorece a atuação do licenciando como protagonista em seu processo de ensino-aprendizagem.

Segundo Tardif (2002, p.36), o saber de um professor é plural, formado de outros saberes provenientes das instituições de formação, da formação profissional, dos currículos e da prática cotidiana. Nessa perspectiva, os futuros professores de Química estarão preparados para atuar como agentes transformadores, participando ativamente no diagnóstico de problemas ambientais e buscando, assim, suas soluções através do desenvolvimento de competências, habilidades e do desenvolvimento de atitudes conduzidas pelo exercício da cidadania ambiental.

A integração da sustentabilidade no currículo do Ensino de Química, torna-se essencialmente relevante para a adoção de uma experimentação sustentável, dado o impacto significativo que os processos químicos têm sobre o meio ambiente. Isso implica, por exemplo, na implementação de atividades que incentivem a consciência ambiental e que fomentem uma cultura de sustentabilidade entre os futuros docentes de Química, como Química Verde, reciclagem, e o impacto dos produtos químicos no

meio ambiente. Silva e Almeida (2020) argumentam que "a incorporação da sustentabilidade no Ensino de Química é essencial para preparar os futuros professores a abordarem questões socioambientais de maneira crítica e reflexiva".

No âmbito global (apesar de fazer parte de um cenário de críticas intenso) a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável vem sendo discutido e manejado principalmente por meio da Agenda 2030 da ONU - anteriormente citados.

Considerando o que o desenvolvimento desta dissertação e seu produto de pesquisa se propõe a contribuir, dentro de seu campo de atuação e alcance, e ainda, considerando os 17 ODS e suas metas, observa-se uma boa aproximação com a proposta de conexão entre QV e sustentabilidade no ensino de Química, especificamente quando observados quatro destes objetivos e algumas de suas metas (Quadro 2):

Quadro 2: Alinhamento dessa pesquisa com os ODS da Agenda 2030

<p>ODS 4</p> <p>Educação de Qualidade</p>	<p>4.7 Até 2030, garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis [...]</p> <p>4.c Até 2030, substancialmente aumentar o contingente de professores qualificados, inclusive por meio da cooperação internacional para a formação de professores, nos países em desenvolvimento, especialmente os países menos desenvolvidos e pequenos Estados insulares em desenvolvimento.</p>
---	--

<p>ODS 6</p> <p>Água potável e saneamento</p>	<p>6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente.</p> <p>6.4 Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis [...]</p>
<p>ODS 12</p> <p>Consumo e produção responsáveis</p>	<p>12.4 Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente.</p> <p>12.5 Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.</p>
<p>ODS 13</p> <p>Ação contra a mudança global do clima</p>	<p>13.3 Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima.</p>

No âmbito da UFRJ, a sustentabilidade vem sendo discutida e manejada de forma intencional, com reconhecimento institucional a partir da aprovação da Política de Sustentabilidade e Educação Regenerativa da UFRJ (Política SER/UFRJ) pelo Conselho universitário (CONSUNI) em 13 de dezembro de 2024 na forma da Resolução nº 343 (RESOLUÇÃO CONSUNI/UFRJ Nº 343).

Em seu Capítulo III, a RES nº 343 apresenta, nos Artigos 6º ao 10º os cinco

Objetivos da Política SER/UFRJ. Dentre eles destacamos os quatro objetivos que tocam diretamente no alinhamento da promoção da sustentabilidade no ensino e no desenvolvimento da cultura e práticas sustentáveis em toda a UFRJ:

Art. 6º A Política SER/UFRJ tem como finalidade unir esforços de toda a comunidade universitária para atuar de modo interdisciplinar, multidisciplinar e transdisciplinar na promoção da Sustentabilidade e da Educação Regenerativa na UFRJ, entendendo que esta é a principal alternativa para a sociedade mitigar as atuais emergências socioambientais e se precaver de futuras crises socioambientais, em permanente diálogo entre educação, ciência, tecnologia, arte, cultura e ancestralidades.

Art. 7º Promover uma cultura de Sustentabilidade Ambiental, Econômica, Social e Política na UFRJ, cultivando uma consciência regenerativa em prol da vida, do pertencimento e da reconexão do ser humano à natureza.

Art. 8º Desenvolver e consolidar, em todos os espaços da UFRJ, cultura e práticas alinhadas à Sustentabilidade, à Educação Regenerativa e a Educação Ambiental, integradas ao ensino, à pesquisa, à extensão e à inovação, tornando os campi e as unidades externas, efetivamente sustentáveis e acolhedores para toda comunidade universitária.

Art. 9º Direcionar a gestão e a educação na UFRJ em prol da sobriedade e do uso eficiente de recursos alinhando instrumentos de gestão e governança. (UFRJ, 2024)

Partimos da compreensão que essa pesquisa também se alinha e contribui para alcançar estes objetivos, localmente, na própria IES.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

Promover a inserção dos princípios de Química Verde e de Sustentabilidade na formação inicial de professores de Química, como forma de contribuir para uma futura conscientização socioambiental entre os futuros docentes.

3.2 Objetivos Específicos

- I. Identificar possíveis aproximações entre os Princípios da QV e as aulas experimentais do curso de Licenciatura em Química do IMQ do CM UFRJ-Macaé;
- II. Propor alterações e replanejamento dos roteiros das aulas experimentais com base nos princípios da QV e Sustentabilidade.
- III. Desenvolver um produto educacional a partir dos principais resultados dessa pesquisa que divulgue e correlacione os Princípios da QV e a Sustentabilidade.

4 JUSTIFICATIVA

Estamos experienciando uma crise mundial marcada pela degradação socioambiental, fruto do paradigma que orienta a relação entre o ser humano e a natureza. Na atual crise ambiental e climática, a educação é vista como um dos processos pelo qual há a possibilidade de mudança paradigmática.

Observa-se que há instrumentos legais e regulatórios para a inserção da EA em todos os níveis de formação no país e que são facultadas as formas de inserção da EA na formação dos sujeitos, inclusive mediante temas relacionados com o meio ambiente e a sustentabilidade, tal qual observado no Art. 16, inciso I da Resolução nº 2 do Conselho Nacional de Educação (CNE), de 15 de junho de 2012, estabelece que:

A inserção dos conhecimentos concernentes à Educação Ambiental nos currículos da Educação Básica e da Educação Superior pode ocorrer:

- I - Pela transversalidade, mediante temas relacionados com o meio ambiente e a sustentabilidade socioambiental;
- II - Como conteúdo dos componentes já constantes do currículo;
- III - Pela combinação de transversalidade e de tratamento nos componentes curriculares (BRASIL, 2012, p. 5).

De acordo com Morales (2012):

O conceito de sustentabilidade aparece como expressão dominante no debate socioambiental, representando a possibilidade de reorientação do processo civilizatório da humanidade e com o propósito de remeter-se à função da capacidade de suporte da natureza (MORALES, 2012, p. 61)

Considerando que o discurso de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, como apresentado, não é imparcial e as disputas em seu entorno podem estar atreladas à representação apenas da lógica econômica é que Morales nos diz que:

Aliada ao intuito de orientar uma educação para a sustentabilidade, a educação ambiental pode contribuir na promoção de sociedades sustentáveis, mediante a lógica crítica, dialógica e autônoma, que se opõe ao discurso oficial do desenvolvimento sustentável. (op. cit., p. 66)

É nesse sentido que a incorporação da educação para sustentabilidade aparece sustentada numa perspectiva interdisciplinar, que não desconsidera os saberes específicos, mas busca incorporar os valores socioambientais em sua complexidade na expectativa de superação da dicotomia natureza-sociedade.

Partindo disso, pode-se considerar que a educação é a peça-chave para trazer o debate entrelaçado entre QV e Sustentabilidade na busca de um equilíbrio entre o

conhecimento empírico e a implementação da própria EA, possibilitando um desenvolvimento crítico e de responsabilidade ambiental ao tornar os professores em formação agentes construtivistas desta história.

A QV, ao ser implementada na formação de professores, oferece oportunidades de reflexão e reestruturação, promovendo uma educação sustentável alinhada aos desafios contemporâneos. Essa inserção vai além de apenas compreender seus conceitos, tornando possível entender os impactos das atividades humanas ao meio ambiente e adotando práticas pedagógicas transformadoras. De acordo com Zuin:

Em relação ao desenvolvimento sustentável e à Educação, há, na Química Verde, uma concepção que defende, quase exclusivamente por meio de “práticas e técnicas ambientalmente corretas”, injetar comportamentos nos estudantes (...) - baseada em novas racionalidades que levem em conta a sustentabilidade socioambiental e suas implicações éticas -, (...), há a possibilidade de se engendrar processos formativos críticos e emancipatórios, que solicitem a participação efetiva do indivíduo, que pensa e sente, para a construção do bem coletivo. (ZUIN, 2011, p. 78)

Sendo assim, os benefícios da inserção da QV na educação podem ser múltiplos, como: a conscientização socioambiental dos futuros docentes, a promoção da EA de forma interdisciplinar, a integração dos princípios com os currículos de formação de professores, o desenvolvimento de metodologias de ensino através da sustentabilidade, a avaliação dos impactos causados pelos próprios experimentos e pela própria Ciência, assim como a eficácia da QV na promoção de práticas sustentáveis.

Marques et al. (2020) apud Marcelino e Marques (2023) mostram uma tendência de crescimento em pesquisas sobre ensino da QV, especialmente na educação superior. Pesquisas têm demonstrado a predominância de propostas de ensino e relatos de experiência de ensino de QV por meio de atividades práticas de laboratório, geralmente pela substituição de experimentos tradicionais no currículo por suas variantes verdes. A exemplo, Andrade e Zuin (2021), que inseriram os princípios da Educação em QV (EQV) em experimentos desenvolvidos por estudantes de Licenciatura em Química em uma Instituição de Ensino Superior (IES) Federal em São Paulo e obtiveram resultados promissores, “a maioria das propostas (onze) alcançou grau verde G3, por escolherem e/ou redesenharem, quando necessário, práticas experimentais que evitassem a geração de resíduos” (op. cit., p. 12). O grau verde

avalia o nível de alinhamento dos experimentos realizados com os princípios verdes, levando os estudantes a pensarem além da técnica, considerando os impactos sociais e ambientais causados pelos experimentos químicos tendo como variáveis os graus G1, G2 e G3, sendo G3 o grau máximo de aproximação com os princípios da QV e o G1 o grau de aproximação com os experimentos químicos tradicionais. Foi descrito que os experimentos realizados atuaram “frente às dimensões tecnocientíficas, sociais, econômicas, geopolíticas e ambientais.” (ANDRADE; ZUIN, 2021, p. 1)

Nesse sentido, a pesquisa se apoia na possibilidade de que as questões socioambientais e a inserção da QV na formação inicial de professores de Química possam também ser trabalhadas a partir da concretização de práticas que contribuam para a formação de docentes atualizados e capacitados para atuação, em um século no qual a renovação dos paradigmas educacionais atuais e a necessidade da aceitação e gestão da crise climática se apresentam como urgentes.

5 METODOLOGIA

Metodologicamente, essa pesquisa se caracteriza como qualitativa do tipo exploratória que, de acordo com Gil (2007, p. 41):

Têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. (GIL, 2007, p. 41)

Pode-se caracterizá-la como um tipo de pesquisa flexível e de fácil adaptação, já que permite a obtenção de uma visão geral sobre o tema, identificando padrões e formulação de hipóteses para pesquisas futuras através de coleta de dados (entrevista, observação e análise de documentos).

Com o intuito de introduzir a QV e avaliar a importância da problematização de questões socioambientais na formação inicial e profissionalização dos professores de química, inicialmente organizou-se o trabalho de pesquisa nas seguintes etapas:

- I. Realização de pesquisa bibliográfica sobre os conceitos e princípios de Química Verde, Educação Ambiental, Sustentabilidade e Experimentação no Ensino de Química;
- II. Análise documental das apostilas das aulas experimentais do curso de Licenciatura em Química do Instituto Multidisciplinar de Química (IMQ) do Centro Multidisciplinar UFRJ-Macaé (CM UFRJ-Macaé), promovendo o levantamento de temas ou conteúdos abordados nas aulas experimentais que mantenham relação com os conceitos e princípios de QV e sustentabilidade;
- III. Planejamento e proposição de alterações dos roteiros com base nos Princípios da QV e, Sustentabilidade;

Desenvolvimento do Produto Educacional no formato de infográfico com pequenos resumos dos conteúdos desenvolvidos e com os principais resultados da pesquisa.

A escolha pela análise das apostilas das disciplinas experimentais do curso de Licenciatura em Química do IMQ do CM UFRJ-Macaé deu-se pela facilidade em acessá-las de forma oficial, via solicitação à Coordenação de curso, e ao fato que a orientadora desta pesquisa é professora do IMQ e dá aulas em algumas dessas

disciplinas.

O Curso de Licenciatura em Química do IMQ é oferecido no horário noturno e foi implantado no Campus UFRJ-Macaé em 2008. Sua concepção inicial adotou uma matriz curricular convergente, similar ao curso de origem no Campus Ilha do Fundão, no Rio de Janeiro, onde são apresentadas desde os períodos iniciais disciplinas de formação pedagógica ao lado daquelas de conteúdos específicos, além de disciplinas de domínio de língua estrangeira instrumental e do vernáculo pátrio. Atualmente o curso aguarda liberação da aprovação de uma grande reforma curricular.

O curso tem duração de 10 períodos (5 anos), com entrada única de 25 alunos no primeiro semestre por meio do sistema ENEM-Sisu do MEC. A matriz curricular do curso (versão curricular 2017) é apresentada no Anexo A. Nela é possível identificar todas as disciplinas da formação pedagógica, bem como as de conteúdos específicos da Química, em especial as que são foco de análise nesta pesquisa.

5.1 Levantamento bibliográfico

Com a perspectiva de analisar as abordagens existentes na literatura sobre a temática deste trabalho, iniciou-se um levantamento bibliográfico através do Portal de Periódicos da CAPES. O resumo desse levantamento é apresentado na Tabela 1.

A seleção do material se deu principalmente pela presença de abordagens parecidas com as que se deseja para este projeto, ou seja, daqueles em que ficou demonstrada a intenção de promover a interação entre Química e Sustentabilidade na formação de Professores de Química por meio de aulas experimentais, através do planejamento e execução de práticas de Química com base nos princípios da QV. Para este levantamento foram utilizados os descritores: Química Verde e Sustentabilidade; Química Verde e Ensino de Química; Química Verde e Experimentação; Química Verde e Educação Ambiental e por fim, Química Verde, Sustentabilidade e Educação Ambiental.

Tabela 1: Levantamento bibliográfico via Portal de Periódico da CAPES

Busca	Artigos encontrados	Artigos revisados (por pares)	Artigos relevantes	Artigos cortados
Química Verde e Experimentação	8	4	2	06
Química Verde e Sustentabilidade	63	35	22	20
Química Verde e Educação Ambiental	30	14	6	12
Química Verde e Ensino de Química	79	49	25	04
Química Verde, Sustentabilidade e Educação Ambiental	6	4	5	1

Como critério de inclusão foram mantidos os artigos revisados por pares em que os objetivos traziam similaridades aos desta pesquisa; como exemplo citamos “Green chemistry: os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa”, dos autores Eder João Lenardão, Rogério Antônio Freitag, et al. (2003), e “A Experimentação na Educação em Química Verde: uma Análise de Propostas Didáticas Desenvolvidas por Licenciandos em Química de uma IES Federal Paulista”, das autoras Rosivânia Andrade e Vânia Zuin (2021).

Como critério de exclusão foram desconsiderados os artigos não revisados por pares, os que não se relacionavam com Química ou Ensino de Química e os que se distanciaram dos objetivos aqui propostos.

O foco da revisão foi na demonstração das potencialidades do conceito de QV para entrelaçamentos entre o ensino de química, sustentabilidade e responsabilidade socioambiental nos cursos de graduação, e para contribuição na elaboração de um infográfico que projete a redução do impacto destas aulas na formação inicial de professores de química.

5.2 Levantamento e Análise dos dados

O curso de Licenciatura em Química do IMQ do CM UFRJ-Macaé conta atualmente com nove disciplinas experimentais das áreas específicas de Química. São elas: Introdução ao Laboratório de Química, Química Geral Experimental II, Química Inorgânica Experimental I e II, Química Orgânica Experimental I e II, Química Analítica Qualitativa Experimental, Química Analítica Quantitativa Experimental e

Bioquímica Experimental. Ao todo foram disponibilizadas 11 apostilas que são atualmente utilizadas nessas disciplinas. Inicialmente foi realizada a caracterização da apostila descrevendo a quantidade de páginas, os itens que a apostila contém, os tópicos dos roteiros dos experimentos, entre outras informações.

A sistematização da análise dos experimentos propostos nas apostilas se deu pela comparação sistemática entre o conteúdo e reações químicas apresentados nos roteiros com o que é preconizado nos 12 Princípios da QV. Assim, essa sistematização se deu a partir da confecção de um quadro contendo, em uma coluna, os 12 Princípios da QV, numa segunda coluna a indicação objetiva de que aquele princípio é ou não praticado ou seguido naquela aula experimental específica, uma terceira coluna contendo uma explicação ou justificativa da indicação anterior e, por fim, uma coluna para especificar em que experimento foi feita a análise. A análise é comparativa, ou seja, estabelece-se uma comparação entre o que é apresentado e proposto no experimento - seus reagentes, métodos, técnicas, reações - com o Quadro 1 anteriormente apresentado. Um protótipo é observado no Quadro 3 abaixo:

Quadro 3: Protótipo do quadro utilizado para análise das aulas experimentais de Química

Princípio QV	A prática atende ao princípio	Justificativa se sim ou não	Em que procedimento é utilizado
Prevenção			
Economia Atômica			
Sínteses com Reagentes de Menor Toxicidade			
Desenvolvimento de Compostos Seguros			

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentamos nos itens de 6.1 a 6.5 o trabalho de análise de alguns roteiros das apostilas das aulas experimentais da disciplina de Química Geral Experimental II (QGE II) (2012), Química Inorgânica Experimental I (QIE I) (s.d.), Química Analítica Qualitativa Experimental (QAE-Quali) (2021), Química Orgânica Experimental II (QOE II) (s.d.) e Química Orgânica Experimental I (QOE I) (s.d.).

A escolha dos roteiros se deu após uma vasta leitura do conteúdo das apostilas de quatro das cinco principais áreas contendo conteúdos específicos de Química - Química Geral, Química Inorgânica, Química Orgânica e Química Analítica; não foram considerados roteiros da área de Físico-Química e Bioquímica. O critério de inclusão e escolha das áreas e dos roteiros se deu por conveniência da autora, considerando o tempo para o desenvolvimento da pesquisa e a abordagem de assuntos com boa possibilidade de apresentação de alterações dos roteiros dentro desse tempo da pesquisa. Ainda assim, destacamos que qualquer disciplina pode ser analisada e remodelada a partir do que apresentamos neste trabalho.

6.1 Disciplina Química Geral Experimental II

6.1.1 Caracterização da Apostila de QGE II

A apostila de QGE II apresenta 32 páginas e contém dez roteiros de aulas práticas. Das páginas 1 a página 6 são apresentados os seguintes itens de orientação aos estudantes: Capa, Apresentação, Segurança em Laboratório, Caderno de Laboratório, Relatórios.

Das páginas 7 a 32, a apostila apresenta os dez roteiros para as aulas práticas, a saber: Prática 1: Preparo de soluções, titulação e padronização, Prática 2. Soluções, Prática 3. Cristalização fracionada, Prática 4. Sistemas coloidais, Prática 5. Calor de reação, Prática 6. Cinética química, Prática 7. Equilíbrio químico, Prática 8. Reatividade dos metais, Prática 9. Reações de oxirredução, e, Prática 10. Eletrólise. Todos os roteiros apresentam os itens Introdução, Objetivos e Parte Experimental.

6.1.2 Análise do roteiro Prática 4: Sistemas Coloidais à luz dos princípios de QV

O quadro 4 apresenta a análise do roteiro destinado à Prática 4 - Sistemas Coloidais (Quadro 4). Nele encontra-se o entrelace entre os procedimentos e reagentes indicados no roteiro à luz dos 12 princípios da QV, com indicação se atendem ou não a estes princípios e a justificativa para essa designação.

Este experimento traz mais de um procedimento e, por isso, fez-se necessário identificá-los na comparação, pois em um mesmo experimento é possível ver a ambiguidade das respostas. O roteiro completo e original pode ser encontrado no Anexo B.

Quadro 4: Prática 4 - Sistema Coloidais

Princípio QV	A prática atende ao princípio	Justificativa se sim ou não	Em que procedimento é utilizado
Prevenção	Não, item 1.1 - b)	No experimento 1- b) há formação de ácido arsênico e utilização de ácido sulfídrico durante a reação: $\text{As}_2\text{S}_3(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_3\text{AsO}_3(\text{aq})$ $2\text{H}_3\text{AsO}_3(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightarrow \text{As}_2\text{S}_3(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O}$	Preparação de coloides em processo de condensação no experimento 1 e Processo de dispersão no experimento 2
	Sim, itens 1.1 - a) e 2	O experimento 1- a) utiliza cloreto férrico (FeCl_3) com água (H_2O), produzindo HCl e $\text{Fe}(\text{OH})_3$, que, ao final, são neutralizados pela própria reação: $\text{FeCl}_{3(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_{3(\text{s})} + \text{HCl}_{(\text{aq})}$ Todos os átomos são consumidos com 100% de aproveitamento. No experimento 2, são utilizados apenas óleo vegetal e água, ambos em gotas, o que não causa nenhum prejuízo ambiental	
Economia atômica	Não se aplica		

Sínteses com reagentes de menor toxicidade	Sim	<p>A utilização do Íon Fe^{3+} em altas concentrações podem ser tóxica para organismos aquáticos (interferindo em processos biológicos como a respiração). O experimento é realizado com 3-4 gotas. O As_2S_3 é tóxico, com risco de morte e altamente perigoso se liberado no meio ambiente. No total, é utilizado cerca de 4-5 mL durante o procedimento.</p> <p>O NH_3 no estado líquido pode causar severas queimaduras nos olhos e na pele. Durante o experimento, foram utilizadas 3 gotas de solução aquosa de amônia.</p> <p>O formol é uma substância tóxica, inflamável e cancerígena, e mesmo em poucas quantidades (5 gotas) pode trazer riscos se manipulado incorretamente</p>	Preparação de coloides em processos de condensação, Propriedades das partículas coloidais em adsorção e coloide protetor em prata coloidal.
Desenvolvimento de compostos seguros	Não	No experimento 1 - b) há formação de ácido arsênico ($2\text{H}_3\text{AsO}_3$), que é corrosivo em metais, e de um gás (H_2S), que é inflamável e tóxico, podendo causar incêndios e explosões.	Preparação de coloides em processo de condensação.
Diminuição de solventes e auxiliares	Não	Há uso de NH_3 e H_2O como solvente, assim como o uso de HCl como catalisador e de formol como agente redutor.	Colóide Protetor em Prata coloidal e preparação de coloides em processos de condensação
Eficiência energética	Não	Em determinado momento do experimento, o $\text{As}_2\text{S}_{3(s)}$ é aquecido e ocorre o uso de método banho-maria	Preparação de coloides em processos de condensação, propriedades das partículas coloidais em adsorção e coloide protetor em prata coloidal.
Uso de matéria-prima renovável	Sim	Durante os procedimentos, é utilizada água como diluidor ou em procedimentos de banho-maria.	Preparação de coloides em processos de condensação, propriedades das partículas coloidais em adsorção e coloide protetor em

			prata coloidal.
Redução do uso de derivados	Não se aplica		
Catálise	Não se aplica		
Desenvolvimento de compostos degradáveis	Não	No experimento 1 - b) há formação de ácido arsênico ($2\text{H}_3\text{AsO}_3$), que é corrosivo em metais, e de um gás (H_2S), que é inflamável e tóxico, podendo causar incêndios e explosões.	Preparação de coloides em processo de condensação.
Análise em tempo real para a prevenção da poluição	Sim	Em alguns procedimentos, são utilizadas substâncias tóxicas e inflamáveis. Sabendo disso, seu uso é moderado e em quantidades mínimas.	Preparação de coloides em processo de condensação e Destruição de coloides em coagulação pela ação de eletrólitos.
Química segura para a prevenção de acidentes	Não, itens 1.1 - b) e 4.1	No experimento 1.1 - b) há formação de um gás (H_2S) que é inflamável, tóxico e pode causar incêndios e explosões. No experimento 4.1 é utilizado formol, que é inflamável	Preparação de coloides em processo de condensação e Destruição de coloides em coagulação pela ação de eletrólitos
	Sim, itens 1.1, 2 e 3	Apesar do uso de substâncias tóxicas no experimento 1.1 e 3, os experimentos foram realizados com gotas, evitando assim o acúmulo dessa substância no processo. Já o experimento 2 não utiliza substâncias inflamáveis.	

Após análise, sugere-se as seguintes modificações:

- Substituir o arsênio por silicato de sódio nos experimentos 1.1 b) Preparação de coloides em processo de condensação, 3.1 Destruição de coloides para processo de coagulação mútua de coloides e 3.2 Destruição de coloides para processo de coagulação pela ação de eletrólitos.
- Substituir o formol por glicose no experimento 4.1 Coloide protetor para prata coloidal.

Durante o experimento, houve a utilização e formação de substâncias tóxicas. Porém, o roteiro não traz nenhuma indicação de como proceder ao final do experimento ou como tratá-las. Uma opção é, ao finalizar o experimento 1.1 - b),

realizar a remoção de arsênio por adsorção - usando óxido de ferro, alumina ativada ou carvão ativado (SOUSA, 2013).

A eficiência de remoção do arsênio é fortemente dependente da concentração inicial de ferro e a proporção entre os mesmos. Em geral, a razão de massa entre o ferro e o arsênio deve ser, pelo menos, de 20:1, sendo que, nestas condições a eficácia de remoção do arsênio situa-se, geralmente, nos 80-95%." (SOUSA, 2013, p. 12)

Alternativamente, utilizar técnicas de precipitação química, como formação de sais insolúveis, para evitar o descarte incorreto e a contaminação de corpos d'água. O ideal é substituir o procedimento 1.1 - b), utilizando, a exemplo, silicato de sódio (Na_2SiO_3), ácido clorídrico diluído (HCl) e água destilada, pois ao final o procedimento será neutralizado e ficará inofensivo.



Quanto ao experimento 3.1, ao substituir o procedimento 1.1 b), apresentado pelo roteiro com As_2S_3 , pelo experimento proposto como substituto, o procedimento b) formará $\text{SiO}_{2(\text{s})}$ e poderá ser utilizado no experimento 3.1 juntamente com o produto gerado pelo procedimento a), $\text{Fe}(\text{OH})_{3(\text{s})}$, pois ao reagirem entre si irão coagular, formando flocos agregados. No experimento 3.2, é utilizado o As_2S_3 . A quantidade da substância é de 1mL e o objetivo é a coagulação do sulfeto de arsênio (III). Porém, o tratamento desta substância requer muito cuidado, principalmente quanto ao seu descarte. Por isso, é indicado para este procedimento substituir o As_2S_3 por SiO_2 , que também é um coloide com carga negativa na superfície, obtendo, desta forma, o mesmo resultado esperado.

O formol é uma substância tóxica, inflamável e cancerígena (QUÍMICA CREDIE, 2012), e é sugerido substituí-lo por glicose no procedimento 4.1. O procedimento irá ocorrer de forma mais lenta, porém obterá os mesmos resultados. Segundo LOPES (2017):

sa utilização de gelatina como agente de "cobertura" glicose como agente redutor na preparação de soluções aquosas de nanopartículas de prata é muito interessante por dois aspectos: não utiliza solventes orgânicos na síntese e não gera substâncias tóxicas poluentes como produtos da reação. (FRANCESCON, 2016, p. 4)

A utilização de gelatina como agente de "cobertura", glicose como agente redutor na preparação de soluções aquosas de nanopartículas de prata é muito

interessante por dois aspectos: não utiliza solventes orgânicos na síntese e não gera substâncias tóxicas poluentes como produtos da reação.

O reajuste deste experimento ajustaria a prática para o atendimento dos seguintes Princípios da QV:

1. Prevenção.
2. Síntese com reagentes de menor toxicidade.
3. Desenvolvimento de compostos seguros.
4. Diminuição de solventes e auxiliares.
5. Eficiência energética.
6. Desenvolvimento de compostos degradáveis.
7. Química segura para a prevenção de acidentes

Os objetivos apresentados pelo roteiro da prática determinam que através dos experimentos serão desenvolvidos os conhecimentos sobre Coloides através da obtenção de coloides, suas propriedades e o conceito de estabilidade coloidal.

É fundamental a adoção de medidas de prevenção e controle, além da busca por alternativas menos tóxicas para a minimização dos impactos causados ao meio ambiente pelos experimentos laboratoriais. As alterações propostas preservam os objetivos originais, além de estarem dentro dos requisitos propostos pelos princípios da QV.

6.2 Disciplina Química Inorgânica Experimental I

6.2.1 Caracterização da Apostila de QIE I

A apostila de Química Inorgânica Experimental I contém 23 páginas com 6 roteiros experimentais. Das páginas 1 a 7, ela apresenta os seguintes itens de orientação aos estudantes: Capa, Apresentação, Segurança em Laboratório, Caderno de Laboratório, Relatórios.

Das páginas 8 a 22, a apostila apresenta os nove roteiros para aulas práticas, a saber: Experimento 1: Elementos do bloco - Grupo 1 e 2, Experimento 2: Elementos

do bloco p - Grupo 13, Experimento 3: Elementos do bloco p - Grupo 14 e 15, Experimento 4: Elementos do bloco p - Grupo 16 e 17, Experimento 5: Elementos do bloco d e Experimento 6: Tratamento de resíduos. O Experimento 6 não traz um roteiro, apenas solicita dos estudantes propostas para procedimentos de tratamento dos resíduos gerados nos experimentos anteriores e a metodologia correta para descarte, porém no IMQ o tratamento é realizado por uma empresa terceirizada.

6.2.2 Análise do roteiro Experimento 2: Elementos do bloco p - Grupo 13 à luz dos princípios de QV

O quadro 5 apresenta a análise do roteiro destinado ao Experimento 2 - Elementos do bloco p - Grupo 13 (Quadro 5). Nele encontra-se o entrelace entre os procedimentos e reagentes indicados no roteiro à luz dos 12 Princípios da QV, com indicação se atendem ou não a estes princípios e a justificativa para essa designação.

Este experimento traz mais de um procedimento e é perceptível que em alguns momentos o roteiro não diz a quantidade de substâncias a serem utilizadas, podendo ficar a critério do professor ou dos estudantes, neste ponto, sendo estes conscientes quanto ao uso dos reagentes, o experimento pode ser realizado de forma minimalista. Fez-se necessário identificar os procedimentos na comparação no quesito Química Segura, pois no experimento é possível ver a ambiguidade das respostas. O roteiro completo e original pode ser encontrado no Anexo C.

Quadro 5: Experimento 2 - Elementos do bloco p - Grupo 13

Princípio QV	A prática atende ao princípio	Justificativa se sim ou não	Em que procedimento é utilizado
Prevenção	Não	<p>O procedimento 1 utiliza nitrato de mercúrio ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$). Durante o experimento, não é designada a quantidade a ser utilizada e, ao final, não traz indicação do que fazer com a substância.</p> <p>O procedimento 2 utiliza ácido nítrico (HNO_3). Ao final do experimento, a apostila não traz indicação do que fazer com a substância.</p>	Reatividade do alumínio metálico, onde uma tira de alumínio deve ser mergulhada nessa substância.

Economia atômica	Não se aplica		
Sínteses com reagentes de menor toxicidade	Não	Os experimentos são realizados utilizando substâncias como ácido sulfúrico, hidróxido de amônio, ácido nítrico, nitrato de mercúrio e bórax anidro. Essas são substâncias altamente tóxicas para quem as manuseia e para o meio ambiente. Mesmo estando em baixa quantidade, o roteiro não traz meios para neutralizá-los ao final do processo.	Obtenção do ácido bórico; Obtenção do éster metílico de ácido bórico – $B(OCH_3)_3$; Reatividade do alumínio metálico; Caráter ácido/básico; Síntese do alúmen de potássio; Propriedades adsorventes.
Desenvolvimento de compostos seguros	Não	O composto desenvolvido nos itens 2.3.1 e 2.3.2 não são seguros, sendo altamente tóxicos e podendo trazer riscos ao meio ambiente se descartados de forma incorreta. $Na_2B_4O_7(s) + 7H_2O(l) \rightarrow 2Na^+(aq) + 4B(OH)_4^-(aq) + 2OH^-(aq)$ $4B(OH)_4^-(aq) + HCl(aq) \rightarrow H_3BO_3(s) + 4H_2O(l)$ $H_3BO_3(s) + 3CH_3OH(l) \rightleftharpoons B(OCH_3)_3(g) + 3H_2O(l)$	Obtenção do ácido bórico; Obtenção do éster metílico de ácido bórico – $B(OCH_3)_3$.
Diminuição de solventes e auxiliares	Não se aplica		
Eficiência energética	Não	Necessidade de realizar banho-maria até 80°C e seguida, realizar banho de gelo.	Obtenção do ácido bórico
Uso de matéria-prima renovável	Sim	Utilização de água como diluente e em procedimento de banho-maria	Obtenção do ácido bórico; Síntese do alúmen de potássio
Redução do uso de derivados	Não	Há utilização de ácido nítrico no processo de passivação de alumínio (formando óxido de alumínio como camada protetora - agente de proteção contra a oxidação e corrosão). $2Al(s) + 6HNO_3(l) \rightarrow 2Al(NO_3)_3(s) + 3H_2O(l) + 3NO_2(g)$	Reatividade do alumínio metálico

		Neste caso, o subproduto indesejado é o dióxido de nitrogênio (NO ₂) - gás poluente do ar.	
Catálise	Não se aplica		
Desenvolvimento de compostos degradáveis	Não	Os experimentos são realizados utilizando substâncias como ácido sulfúrico, hidróxido de amônio, ácido nítrico, nitrato de mercúrio e bórax anidro. Essas são substâncias altamente tóxicas para quem as manuseia e para o meio ambiente. Mesmo estando em baixa quantidade, o roteiro não traz meios para neutralizá-los ao final do processo.	Obtenção do ácido bórico; Obtenção do éster metílico de ácido bórico – B(OCH ₃) ₃ ; Reatividade do alumínio metálico; Caráter ácido/básico; Síntese do alúmen de potássio; Propriedades adsorventes .
Análise em tempo real para a prevenção da poluição	Não	Durante o experimento, não é designada a quantidade a ser utilizada de algumas substâncias tóxicas e, ao final do processo, não apresenta medidas protetivas	Reatividade do alumínio metálico; Propriedades adsorventes
Química segura para a prevenção de acidentes	Não para o item 2.3.2	Inflamar metanol para teste de chama e identificação de acidez e basicidade em cristais de ácido bórico.	Obtenção do éster metílico de ácido bórico – B(OCH ₃) ₃ ; Reatividade do alumínio metálico
	Sim para o Item 2.3.3	A reação do alumínio com ácido clorídrico é exotérmica, podendo liberar calor. $2\text{Al(s)} + 6\text{HCl(l)} \rightarrow 2\text{AlCl}_3\text{(s)} + 3\text{H}_2\text{(g)}$ Porém, durante o experimento, é utilizado ácido nítrico no alumínio, que produz uma camada protetora de óxido de alumínio, tornando-o menos reativo ao entrar em contato com outros ácidos.	

Após análise, sugere-se as seguintes modificações:

- Substituir o metanol por etanol no processo de obtenção do éster metílico de ácido bórico para a obtenção de éster etílico de ácido bórico, já que o objetivo é realizar um teste de chama.
- Substituição do nitrato de mercúrio por nitrato de prata.
- Substituir o hidróxido de amônio por bases menos tóxicas.
- Realizar a passivação do alumínio com ácido cítrico.

O nitrato de mercúrio ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) representa um risco ambiental e à saúde humana por ser altamente tóxico e perigoso, principalmente devido à sua solubilidade em água e transformação em metilmercúrio (QUÍMICA CREDIE, 2012). Seu uso tem sido progressivamente substituído por alternativas menos tóxicas, sendo possível encontrar regulamentações que visam minimizar sua liberação no meio ambiente. A exemplo, a Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece limites máximos de mercúrio em efluentes industriais (0,01 mg/L Hg) e determina que o descarte de resíduos contendo mercúrio seja feito de forma adequada, seguindo as normas técnicas e ambientais. Um exemplo possível para sua substituição é o uso de nitrato de prata (AgNO_3) como alternativa menos tóxica.

O hidróxido de amônio pode causar irritação e queimaduras na pele, olhos e vias respiratórias, e a inalação de vapores de amônia pode levar a problemas pulmonares, como bronquite e edema pulmonar. Em casos mais graves, a exposição prolongada pode ser fatal (LABSYNTH, 2022). É possível substituir o hidróxido de amônio por bases menos tóxicas, como hidróxido de sódio ou potássio, que são menos voláteis que o hidróxido de amônio, podendo ser necessário repetir o procedimento.

A passivação do alumínio com ácido nítrico, embora eficaz, gera dióxido de nitrogênio (NO_2 - gás tóxico e poluente). Em estudos de corrosão realizados por Wysocka, et. al. (2007), é comprovada a eficiência da interação entre o ácido cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) e o alumínio em meio alcalino eletrolítico, sendo o ácido cítrico um ácido orgânico fraco, considerado menos tóxico (reduzindo os riscos para a saúde e o meio ambiente) e mais ecologicamente correto do que o ácido nítrico, já que é biodegradável, diminuindo o impacto ambiental.

O reajuste deste experimento ajustaria a prática para o atendimento dos seguintes Princípios da QV:

1. Prevenção;
2. Síntese com reagentes de menor toxicidade;
3. Desenvolvimento de compostos seguros;
4. Redução de uso de derivados;
5. Desenvolvimento de compostos degradáveis.

6. Análise em tempo real para a prevenção da poluição.

O objetivo apresentado pelo roteiro determina que através dos experimentos serão estudados os elementos e compostos dos Grupos 1 e 2 quanto à reatividade química. As alterações propostas para a o experimento 2, propõe alternativas menos tóxicas com diminuição dos impactos ambientais que poderiam ser causados pela prática original, incluindo a geração de resíduos. Deve-se avaliar e garantir que as escolhas das substâncias escolhidas sejam sustentáveis e que adotem medidas de prevenção e controle na produção de dejetos.

6.3 Disciplina Química Analítica Qualitativa Experimental

6.3.1 Caracterização da Apostila de QAQuali

A apostila de Química Analítica Qualitativa Experimental contém 103 páginas com 05 roteiros experimentais de química analítica qualitativa e 06 roteiros experimentais de química analítica quantitativa. Das páginas 1 a 21, ela apresenta os seguintes itens de orientação aos estudantes: Capa, Introdução Gerais, Anotações Experimentais e Relatórios e Aula 1 contendo um Histórico da química analítica.

Das páginas 22 a 102, a apostila apresenta os onze roteiros para aulas práticas, a saber, Química Analítica Qualitativa: Aula 2: identificação e separação dos cátions dos grupos I e II, Aula 3: identificação dos cátions do grupo grupo III, Aula 4: identificação dos cátions do grupo IV e V, Aula 5: fundamentos analíticos e reações dos ânions em análises de amostras, Química Analítica Quantitativa: Aula 6: experimento introdutório, Aula 7: determinação gravimétrica, Aula 8: determinação volumétrica - precipitação, Aula 9: Determinação volumétrica - neutralização, Aula 10: Determinação volumétrica - complexação, Aula 11: determinação volumétrica - oxi-redução. Todos os roteiros apresentam os itens Introdução, Objetivos e Parte Experimental.

6.3.2 Análise do roteiro Identificação e separação dos cátions dos Grupos I e II à luz dos princípios de QV

O quadro 6 apresenta a análise do roteiro destinado à Aula 2 - Identificação e separação dos cátions do Grupo I e II (Quadro 6). Nele encontra-se o entrelace entre os procedimentos e reagentes indicados no roteiro à luz dos 12 princípios da QV, com indicação se atendem ou não a estes princípios e a justificativa para essa designação.

Neste experimento é realizada uma Marcha Analítica para a identificação dos grupos ali presentes. O procedimento ocorre com gotas, o que é um ponto positivo, todavia o experimento é realizado com substâncias tóxicas que, assim como os produtos gerados, possuem alto nível de periculosidade se descartados de forma incorreta, tornando isso o ponto negativo e principal interesse quanto ao estudo. Vale ressaltar que o relatório aponta para a necessidade do descarte seguro dessas substâncias, porém não causa inquietação quanto ao assunto para quem o utiliza, por não trazer métodos que diminuam o impacto ambiental do experimento. O roteiro completo e original pode ser encontrado no Anexo D.

Quadro 6: Aula 2 - Identificação e separação dos cátions do Grupo I e II

Princípio QV	A prática atende ao princípio	Justificativa se sim ou não	Em que procedimento é utilizado
Prevenção	Não	Como consequência do desenvolvimento de aprendizado do Grupo I e II, a prática consequentemente gera resíduos no seu processo de identificação e separação dos Grupos.	Em todo processo do experimento de identificação dos cátions dos grupos I e II.
Economia atômica	Não se aplica		
Sínteses com reagentes de menor toxicidade	Não	O experimento é desenvolvido em meio ácido e produzirá precipitados na forma de cloretos insolúveis: cloreto de chumbo ($PbCl_2$), cloreto de prata ($AgCl$) e cloreto de mercúrio I (Hg_2Cl_2). Se feito de forma incorreta, pode precipitar oxicloreto de bismuto (III) (grupo IIA) e de antimônio (III) (grupo IIB).	Reações dos cátions do Grupo I Reação As^{3+} Sb^{3+}

Desenvolvimento de compostos seguros	Não	Apesar da prática experimental possuir uma função desejada específica, seus produtos são precipitados na forma de cloretos insolúveis: cloreto de chumbo (PbCl_2), cloreto de prata (AgCl) e cloreto de mercúrio I (Hg_2Cl_2). Se feito de forma incorreta, pode precipitar oxicloretos de bismuto (III) (grupo IIA) e de antimônio (III) (grupo IIB).	Reações dos cátions do Grupo I Reação As^{3+} Sb^{3+}
Diminuição de solventes e auxiliares	Não se aplica	Não há presença de solventes orgânicos neste experimento	Reações dos cátions do Grupo II
Eficiência energética	Não	Em alguns momentos dentro do experimento, é necessário adicionar água destilada aquecida ou fervendo e realizar banho-maria.	Reações dos cátions do Grupo I
Uso de matéria-prima renovável	Sim	Durante o procedimento, a água é utilizada como diluente.	Reações dos cátions do Grupo I
Redução do uso de derivados	Não se aplica		
Catálise	Não	O TAA (ácido 4- toluenossulfônico) funciona como catalisador no procedimento. Porém, não é superior aos reagentes estequiométricos presentes na reação.	Reações dos cátions do Grupo II
Desenvolvimento de compostos degradáveis	Não	A prata (Ag^+), o chumbo (Pb^+) e mercúrio (Hg^+) são utilizados nos experimentos, tendo como produtos residuais ao final do procedimento: cloreto de chumbo (PbCl_2), cloreto de prata (AgCl) e cloreto de mercúrio I (Hg_2Cl_2), que são considerados tóxicos e perigosos tanto para a saúde quanto para o meio ambiente. Embora possua um grau menor que o mercúrio ou chumbo, a prata não possui tratamento ou neutralização.	Reações dos cátions do Grupo I Reação As^{3+} Sb^{3+}
Análise em tempo real para a prevenção da poluição	Sim	Durante a marcha analítica, a quantidade utilizada dos reagentes é mínima, evitando a produção de excesso de resíduos tóxicos e permitindo assim o monitoramento em tempo real.	Reações dos cátions do Grupo I Reação As^{3+} Sb^{3+}

Química segura para a prevenção de acidentes	Sim	O HCl utilizado durante o experimento encontra-se de forma diluída.	Reações dos cátions do Grupo I Reação As^{3+} Sb^{3+}
--	-----	---	--

Após análise, sugere-se as seguintes modificações:

- Realização em microescala.
- Eliminação de alguns cátions por apresentar semelhanças a outros.
- A utilização de biomassa para tratamento de resíduos.

O roteiro apresenta a seguinte colocação:

Uma característica que fez com que a disciplina de química analítica qualitativa tivesse sido alvo de críticas é a geração de resíduos contendo principalmente metais pesados. É necessário, de forma adequada, dar um destino final aos resíduos gerados, já que metais pesados possuem elevado potencial tóxico e são acumulativos no meio ambiente¹²⁻¹⁴. Dentre as alternativas para reduzir os resíduos gerados ou descartá-los de forma adequada, podemos destacar: a recuperação e sua reutilização, a redução do estado de oxidação do metal, ou ainda, a passivação através da precipitação na forma de sais inertes¹³. (TEIXEIRA, 2021, p.20 e 21.)

Porém, o autor não traz nenhuma medida para a realização da recuperação, reutilização ou redução das substâncias encontradas no processo. Uma alternativa para esse experimento é realizar a técnica de microscopia de força atômica, onde é possível identificar e qualificar os íons do Grupo I e II, técnica essa que tem ganhado força no desenvolvimento de estudos sobre nanomateriais. Porém, sendo uma Universidade que não detém poder aquisitivo para tal análise, torna-se utópica tal proposta.

De acordo com Abreu, et al. (2006), que analisaram a marcha analítica nos experimentos Analíticos Qualitativos quanto aos grupos I, II, III, IV A e B, é possível eliminar alguns cátions desses grupos por:

- Conterem semelhanças com outros cátions do mesmo grupo: os " Bi(III) e Sb(III)/Sb(V) foram eliminados por apresentarem comportamento semelhante ao Cu^{2+} e As(III)/As(V) , respectivamente."
- Realizar tratamento de resíduos dos grupos trabalhados, podendo eliminar outros cátions, pois o tratamento antecipava o estudo deles. A exemplo, eles citam o Cr(VI) por possuir caráter anfótero do Cr(OH)_3 - formado ao final do tratamento de resíduos do grupo II - permitindo prever o comportamento do Cr^{3+} que seria abordado

no grupo III.

Os resíduos gerados na precipitação dos íons do Grupo I e II devem ser tratados adequadamente para a remoção dos metais pesados e evitar a contaminação ambiental, podendo ser realizado por meio de adsorção em carvão ativado ou alumina, oxirredução e precipitação. Porém, o roteiro recomenda que sejam reservados apenas em recipientes determinados pelo técnico do laboratório, sem preocupação quanto ao futuro dele. Tendo isso em mente, é necessária a ampliação quanto aos cuidados com a geração de insumos e tratamento deste. Por isso, é importante sempre optar por converter resíduos metálicos em formas menos reativas e/ou tóxicas, podendo realizar a passivação deles e neutralizar compostos ácidos e básicos entre si ao final do procedimento.

Vale ressaltar que os estudos sobre o tratamento de metais pesados em efluentes utilizando biorreagentes estão sendo aprimorados. Os biorreagentes podem atuar de maneiras diferentes, como a biossorção (utilização de biomassa - algas, fungos, bactérias ou resíduos agrícolas - através da adsorção) e a remoção por biomassa de plantas aquáticas (através da fitoextração). Wase⁹ et. al. (1997) apud Calfa e Torem (2007, pg. 541) destacam o uso da bactéria *Bacillus Subtilis* (subproduto de um processo de fermentação) como um biossorvente eficiente na remoção de Ag, Cd, Cu, Pb e Zn.

O reajuste deste experimento ajustaria a prática para o atendimento dos seguintes Princípios da QV:

1. Síntese com reagentes de menor toxicidade;
2. Desenvolvimento de compostos seguros;
3. Catálise;
4. Desenvolvimento de compostos degradáveis.

O objetivo apresentado pelo roteiro consiste na determinação da composição química das substâncias ou de suas misturas, comparação de reações, uso e manuseio de substâncias. As alterações propostas para a aula 2 preservam o objetivo original mesmo sofrendo a redução do experimento ao eliminar alguns elementos

⁹ WASE, J., FORSTER, C. et al. **Biosorbents for metal ions**. Grã-Bretanha: Taylor & Francis Ltda, 1997. 238p.

desses grupos por possuírem identificações semelhantes. Se já existem debates quanto à existência da similaridade no processo de reação, torna-se ambientalmente correto (além de preencherem os requisitos dos princípios da QV), apenas discorrer sobre estes elementos durante as aulas e comentar as semelhanças durante o experimento, evitando, dessa forma, a geração de resíduos tóxicos.

6.4 Disciplina Química Orgânica Experimental II

6.4.1 Caracterização da Apostila de QOE II

A apostila de Química Orgânica Experimental II contém 39 páginas com 12 roteiros experimentais. Das páginas 1 a 6, ela apresenta os seguintes itens de orientação aos estudantes: Capa, Apresentação, Segurança em Laboratório, Caderno de Laboratório, Relatórios.

Das páginas 9 a 37, a apostila apresenta os nove roteiros para aulas práticas, a saber: Prática 1: Esquema da Síntese do Vermelho de Monolite (subdividida em - obtenção da Acetanilida, obtenção da p-Nitroacetanilida, obtenção da p-Nitroanilina, obtenção do Vermelho), Prática 2: Reação de acoplamento do sal de diazônio com β -naftol em meio ácido, Prática 3: Obtenção do Ácido Acetilsalicílico (AAS), Prática 4: Obtenção de sabão, Prática 5: Obtenção de biodiesel, Prática 6: Obtenção do Salicilato de metila, Prática 7: Obtenção do Acetato de n-butila, Prática 8: Obtenção de ácido benzoico, Prática 9: Obtenção da Ftalimida, Prática 10: Obtenção do Dibenzalacetona, Prática 11: Obtenção do 2-Cloro-2-metilpropano. e. Prática 12: Obtenção do cicloexeno. Todos os roteiros apresentam os itens Introdução, Objetivos e Parte Experimental.

6.4.2 Análise do roteiro *Prática 7 - Obtenção do Salicilato de metila (reação de esterificação)* à luz dos princípios de QV

Os Quadros 7 e 8 apresentam a análise dos roteiros destinados à Prática 6 - Obtenção do Salicilato de metila (Quadro 7) e Prática 7 - Obtenção do Acetato de n-butila (Quadro 8). Neles encontram-se os entrelaces entre os procedimentos e reagentes indicados no roteiro à luz dos 12 princípios da QV, com indicação se

atendem ou não a estes princípios e a justificativa para essa designação.

A escolha pela arguição destes procedimentos deu-se pelos seus objetivos, pois ambos os experimentos objetificam a realização de Reação de Esterificação, diferenciando-se nos processos e nas substâncias, sendo essas, nocivas nos dois casos. Tendo dois experimentos com o mesmo propósito, uma possibilidade era a utilização de uma alternativa sustentável, podendo gerar uma comparação e debate sobre métodos ecologicamente responsáveis que alcancem o mesmo resultado da prática tradicional. Os roteiros completos e originais podem ser encontrados nos Anexos E e F respectivamente.

Quadro 7: Prática 6 - Obtenção do Salicilato de metila (reação de esterificação)

Princípio QV	A prática atende ao princípio	Justificativa se sim ou não	Em que procedimento é utilizado
Prevenção	Não	A reação gera resíduos que exigem tratamento adequado antes do descarte. É necessário neutralizar os ácidos e bases e remover os compostos orgânicos. Porém, o experimento não traz medidas para o seu tratamento.	Obtenção do salicilato de metila (reação de esterificação)
Economia atômica	Não	Há produção de uma fase aquosa (água residual do éster) como subproduto, que é descartada ao final do procedimento, e a geração de CO ₂ (g)	Obtenção do salicilato de metila (reação de esterificação)
Sínteses com reagentes de menor toxicidade	Não	As substâncias utilizadas no experimento como reagentes – H ₂ SO ₄ = ácido sulfúrico concentrado como catalisador e o CH ₃ OH = metanol – são tóxicas e perigosas para a saúde humana, além de prejudicar o meio ambiente se descartadas de forma incorreta.	Obtenção do salicilato de metila (reação de esterificação)
Desenvolvimento de compostos seguros	Sim	Cada reagente utilizado tem um objetivo específico, seja esterificação, neutralização e secagem. Porém, é necessário ter atenção, pois cada etapa desses procedimentos forma insumos que, em grandes quantidades, podem ser tóxicos ao meio ambiente se descartados de forma incorreta:	Obtenção do Salicilato de metila (reação de esterificação)

		<p>$C_8H_8O_3(l)$ (salicilato de metila) – produto da esterificação;</p> <p>$CH_3COONa(aq)$ (acetato de sódio) – produto da neutralização;</p> <p>$MgSO_4(s)$ (sulfato de magnésio) – produto da secagem.</p>	
Diminuição de solventes e auxiliares	Não	O procedimento utiliza solventes inorgânicos (água, cloreto de sódio e carbonato de sódio) e orgânicos (metanol e salicilato de metila), que são tóxicos e perigosos para a saúde, e se descartados de forma incorreta afetarão o meio ambiente.	Obtenção do salicilato de metila (reação de esterificação)
Eficiência energética	Não	O procedimento ocorre em aquecimento sob refluxo por 2h.	Obtenção do salicilato de metila (reação de esterificação)
Uso de matéria-prima renovável	Sim	Utilização de água no procedimento de esterificação.	Obtenção do salicilato de metila (reação de esterificação)
Redução do uso de derivados	Não se aplica		
Catálise	Não	<p>Este experimento não maximiza a incorporação dos átomos dos reagentes. A reação de esterificação produz uma fase aquosa (água residual do éster) como subproduto, que é descartada ao final do procedimento.</p> <p>O ácido sulfúrico concentrado apresenta eficácia na obtenção do salicilato de metila por acelerar sua formação, porém é utilizado em grande quantidade (3,7g).</p>	Obtenção do Salicilato de metila (reação de esterificação)
Desenvolvimento de compostos degradáveis	Não	<p>O objetivo é a síntese de um éster. Neste caso, as substâncias tóxicas envolvidas (H_2SO_4 e CH_3OH) são neutralizadas e não decompostas.</p> <p>$2Na_2CO_3(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow 2NaHCO_3(aq) + Na_2SO_4(aq)$</p> <p>$NaHCO_3(aq) + CH_3COOH(aq) \rightarrow CH_3COONa(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$</p>	Obtenção do salicilato de metila (reação de esterificação)

Análise em tempo real para a prevenção da poluição	Sim	O bicarbonato de sódio atuará como neutralizante do ácido sulfúrico (catalisador) do ácido salicílico residual. $\text{NaHCO}_3(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$	Obtenção do salicilato de metila (reação de esterificação)
	Não	As substâncias tóxicas envolvidas (H_2SO_4 e CH_3OH) não são decompostas. São neutralizadas e produzem $\text{CO}_2(\text{g})$, um dos principais gases do efeito estufa.	
Química segura para a prevenção de acidentes	Sim	Os possíveis riscos seriam: I. A adição de ácido sulfúrico na água, pois é uma reação violenta e com liberação de calor; II. A adição do metanol (uma substância altamente volátil e tóxica mesmo em poucas quantidades) no balão volumétrico. Porém, o roteiro traz as informações necessárias para a realização destes procedimentos de forma segura, com bastante cautela e utilizando a capela.	Obtenção do salicilato de metila (reação de esterificação)

Quadro 8: Prática 7 - Obtenção do Acetato de n-butila (reação de esterificação)

Princípio QV	A prática atende ao princípio	Justificativa se sim ou não	Em que procedimento é utilizado
Prevenção	Não	A reação gera resíduos que exigem tratamento adequado antes do descarte $\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3(\text{l})$ = acetato de n-butila líquido). É necessário neutralizar os ácidos e bases e remover os compostos orgânicos. Porém, o experimento não traz medidas para o tratamento.	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)

Economia atômica	Não	Há produção de uma fase aquosa (água residual do éster) como subproduto, que é descartada ao final do procedimento e a geração de $\text{CO}_2(\text{g})$	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)
Sínteses com reagentes de menor toxicidade	Não	As substâncias utilizadas no experimento como reagentes – $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{l})}$ = ácido acético líquido, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}_{(\text{l})}$ = álcool n- butílico líquido, H_2SO_4 = ácido sulfúrico concentrado como catalisador, assim como o produto $\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3_{(\text{l})}$ = acetato de n-butila líquido – são substâncias tóxicas e perigosas para a saúde, além de prejudicar o meio ambiente se descartadas de forma incorreta.	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)
Desenvolvimento de compostos seguros	Não	O produto $\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3_{(\text{l})}$ = acetato de n-butila líquido é uma substância tóxica e perigosa para a saúde, além de prejudicar o meio ambiente se descartadas de forma incorreta.	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)
Diminuição de solventes e auxiliares	Não	O procedimento utiliza solventes inorgânicos (água e bicarbonato de sódio) e orgânicos (álcool n- butílico e acetato de n-butila - produto final) que são tóxicos e perigosos para a saúde, e se descartados de forma incorreta, afetarão o meio ambiente.	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)
Eficiência energética	Não	O procedimento ocorre em um banho de óleo aquecido por 2h.	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)
Uso de matéria-prima renovável	Sim	Utilização de água no procedimento de esterificação.	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)
Redução do uso de derivados	Não se aplica		
Catálise	Não	O ácido sulfúrico concentrado apresenta eficácia na obtenção do n-butila por acelerar a reação, mesmo sendo utilizado em pouca quantidade (0,45g). Porém, este experimento não maximiza a incorporação dos átomos	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)

		dos reagentes. A reação de esterificação produz uma fase aquosa (água residual do éster) como subproduto, que é descartada ao final do procedimento.	
Desenvolvimento de compostos degradáveis	Não	O objetivo é a síntese de um éster. Neste caso, as substâncias tóxicas envolvidas (H_2SO_4 e CH_3COOH) são neutralizadas e não decompostas. $\text{NaHCO}_3(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)
Análise em tempo real para a prevenção da poluição	Não	O bicarbonato de sódio atuará como neutralizante do ácido sulfúrico (catalisador) e do ácido acético residual. $\text{NaHCO}_3(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$ Porém, essas substâncias não são totalmente neutralizadas. Elas serão decompostas produzindo no processo $\text{CO}_2(\text{g})$, um dos principais gases do efeito estufa.	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)
Química segura para a prevenção de acidentes	Sim	O álcool n-butílico tem ponto de fulgor de 35°C , que é relativamente alto e evita a ignição acidental. Outro risco seria a adição de ácido sulfúrico na água, pois é uma reação violenta e com liberação de calor. Porém, o roteiro traz a informação para este procedimento ser realizado com bastante cautela. O procedimento ocorre em banho de óleo, o que proporciona um aquecimento com maior controle (sem uso de chamas diretas).	Obtenção do acetato de n-butila (reação de esterificação)

Após análise, sugere-se as seguintes modificações:

- Ambos os experimentos podem ser substituídos por uma via menos tóxica.
- Utilização de catalisadores sólidos heterogêneos.
- Substituição do procedimento em banho de óleo por micro-ondas.
- Realização de esterificação através de enzimas.

Por alcançarem o mesmo objetivo, recomenda-se a realização de apenas um dos dois procedimentos (obtenção do acetato de n-butila ou o de obtenção do salicilato de metila), pois ambos são reação de esterificação com utilização de substâncias tóxicas e produção de CO₂ na reação de neutralização. Ao substituir o metanol e o álcool n-butílico por etanol, seria obtido salicilato de etila e acetato de etila, respectivamente. Porém, sua substituição não prejudicaria o objetivo do experimento, que é a reação de esterificação (ácido carboxílico + água → éter + água). O etanol, por ser proveniente de biomassa e, portanto, biodegradável, tornaria o experimento menos tóxico.

A utilização de catalisadores sólidos heterogêneos como substituto do ácido sulfúrico concentrado pode impor obstáculos para os danos causados pelo uso do ácido concentrado. Esses catalisadores facilitam a separação reduzindo a geração de resíduos causada pelo processo original. Um exemplo possível é a substituição por resina Amberlyst 15. A substituição das duas reações por uma reação de esterificação, através da obtenção de acetato de etila utilizando etanol no lugar do álcool n-butila e resina Amberlyst 15 no lugar do ácido sulfúrico (GUIMARÃES, 2017) também é uma opção quanto à diminuição de toxicidade. Ao final do procedimento, o produto poderá ser utilizado em reações de hidrólise (FRANCESCON, 2016).

Quanto à substituição do procedimento em banho de óleo por micro-ondas, Segundo Guimarães (2017), “A irradiação micro-ondas interage diretamente com as substâncias no interior do frasco reacional, o qual é constituído de material transparente (normalmente vidro, quartzo ou teflon), que não irá interagir com as micro-ondas, possibilitando uma forma de aquecimento muito mais rápida e eficiente.”

Segundo Francescon:

A utilização de enzimas como catalisadores foi algo muito explorado nos últimos anos, devido as suas vantagens em relação aos catalisadores clássicos, como sua alta especificidade, controle na formação de subprodutos e por operarem em condições amenas de temperatura e pressão. (FRANCESCON, 2016, p. 4)

Portanto, a realização de esterificação através de enzimas, substituindo o ácido sulfúrico por isoamílico e óleo fúsel, a exemplo, permite que a reação ocorra de forma eficiente, diminuindo os riscos de acidente em laboratório e diminuição da toxicidade.

O reajuste deste experimento ajustaria a prática para o atendimento dos seguintes Princípios da QV:

1. Prevenção;
2. Síntese com reagentes de menor toxicidade;
3. Desenvolvimento de compostos seguros;
4. Catálise;
5. Desenvolvimento de compostos degradáveis;
6. Análise em tempo real para a prevenção da poluição;
7. Química segura para a prevenção de acidentes.

O objetivo apresentado pelo roteiro determina que através dos experimentos serão desenvolvidos os conhecimentos sobre reações de esterificação. As alterações propostas preservam o objetivo original, além de estarem dentro dos requisitos propostos pelos princípios da QV.

6.5 Disciplina Química Orgânica Experimental I

6.5.1 Caracterização da Apostila de QOE I

A apostila de Química Orgânica Experimental I contém 20 páginas com 9 roteiros experimentais. Entre a página 1 e página 6 ela apresenta os seguintes itens de orientação aos estudantes: Capa, Apresentação, Segurança em Laboratório, Caderno de Laboratório, Relatórios.

Da página 8 até a página 19 a apostila apresenta os nove roteiros para aulas práticas, a saber: Prática 1: Teste de solubilidade, Prática 2: Extração de ácido-base, Prática 3: Recristalização, Prática 4: Ponto de Fusão, Prática 5: Destilação simples, Prática 6: Destilação fracionada, Prática 7: Ponto de Ebulição, Prática 8: Destilação a vapor, e, Prática 9: Cromatografia em camada delgada. Todos os roteiros apresentam os itens Introdução, Objetivos e Parte Experimental.

6.5.2 Análise do roteiro *Prática 5 - Destilação Simples* à luz dos princípios de QV

O quadro 9 apresenta a análise do roteiro destinado à Prática 5 - Destilação Simples (Quadro 9). Nele encontra-se o entrelace entre os procedimentos e reagentes

indicados no roteiro à luz dos 12 princípios da QV, com indicação se atendem ou não a estes princípios e a justificativa para essa designação.

Sendo este experimento simples com o objetivo de separar duas substâncias com ponto de ebulição (PE) diferentes, a utilização de substâncias tóxicas pode causar riscos ambientais e à saúde se, quando no estado gasoso, vazarem ou, quando estiverem no estado líquido, antes ou após o experimento, forem manuseadas de forma incorreta. O roteiro completo e original pode ser encontrado no Anexo G.

Quadro 9: Prática 5 - Destilação Simples

Princípio QV	A prática atende ao princípio	Justificativa se sim ou não	Em que procedimento é utilizado
Prevenção	Não se aplica		
Economia atômica	Não se aplica		
Sínteses com reagentes de menor toxicidade	Não	O experimento, apesar de simples (por não conter tantos reagentes), utiliza heptano e acetona. O heptano é um líquido altamente inflamável, tóxico e corrosivo, e a acetona é volátil, inflamável, tóxica e sua combustão produz CO ₂ (gás do efeito estufa).	Destilação simples entre a acetona e o heptano
Desenvolvimento de compostos seguros	Não	Apesar dos reagentes serem utilizados com objetivos determinados, a escolha do reagente heptano poderia ser evitada devido ao seu alto teor de toxicidade.	Destilação simples entre a acetona e o heptano
Diminuição de solventes e auxiliares	Não	Ambas as substâncias envolvidas neste procedimento são solventes orgânicos.	Destilação simples entre a acetona e o heptano
Eficiência energética	Não	Para a realização deste experimento, é necessária uma manta térmica para aquecer o balão e realizar assim a separação por diferentes pontos de ebulição.	Destilação simples entre a acetona e o heptano
Uso de matéria-prima renovável	Sim	Ocorre o uso de matéria prima renovável, no caso, a água, que é utilizada no condensador (utilizada para resfriamento do sistema no processo). Porém, esse sistema pode favorecer o uso exacerbado de água e ocorrendo o descarte dessa água	Destilação simples entre a acetona e o heptano

		diretamente na pia, já que o interesse é apenas no resfriamento do sistema.	
Redução do uso de derivados	Não se aplica		
Catálise	Não se aplica		
Desenvolvimento de compostos degradáveis	Sim	Após a separação, pode-se repetir o processo com as substâncias utilizadas.	Destilação simples entre a acetona e o heptano
Análise em tempo real para a prevenção da poluição	Sim	É possível analisar o procedimento em tempo real, principalmente para evitar acidentes.	Destilação simples entre a acetona e o heptano
Química segura para a prevenção de acidentes	Não	Ambos os reagentes são altamente inflamáveis e tóxicos.	Destilação simples entre a acetona e o heptano

Após análise, sugere-se as seguintes modificações:

- Realizar o procedimento com substâncias menos tóxicas.
- Substituição do procedimento de destilação simples da disciplina de QOEl para QGEII.

Como o objetivo da prática é educacional e com foco na técnica da separação em si, ou seja, o processo de separação pela técnica de destilação baseada nas diferenças de ponto de ebulição das substâncias, pode-se realizar a destilação simples com outros componentes menos agressivos ao meio ambiente e ao ser humano. Uma proposta seria a destilação do vinho tinto.

O vinho contém uma mistura entre água, álcool etílico (etanol) e outros compostos (dependendo da marca e do tipo de vinho). A destilação do vinho servirá para separar o etanol dos demais componentes ali presentes. Neste caso, a mistura água-etanol não se caracterizará como azeotrópica e a destilação simples funcionará com o objetivo de obter um destilado com menor teor alcoólico. Como a concentração de etanol é alta, após ocorrer a primeira destilação, o vinho restante no balão poderá ser reutilizado em outros procedimentos de destilação para a obtenção de uma maior concentração de etanol. Processos como esses já são utilizados na produção de cachaça do coração, cachaça de melhor qualidade e que corresponde a 80% de todo produto destilado, de acordo com Rizzon e Meneguzzo (2008). Conhaque, brandy ou

aguardente de vinho são outros exemplos de destilados que passam por esse mesmo processo.

Outra opção é realizar a destilação simples no processo de tratamento de lixiviados de aterro sanitário. Um procedimento que uniria a disciplina de química orgânica com os estudos da educação ambiental. De acordo com Canabarro (2022), que reconheceu a utilização da técnica como “bastante promissora, inovadora e sustentável”, é possível realizar a extração do lixiviado, obtendo ao final do processo um efluente tratado e límpido, deixando no balão uma fração de borra residual que representa 15% da análise total inicial. A porção destilada também pode ser utilizada em outros procedimentos de análises laboratoriais, como procedimentos físico-químicos e de compostos orgânicos voláteis (COV).

Uma proposta um pouco mais ousada em termos de ajuste curricular seria retirar essa aula da disciplina de Química Orgânica Experimental I e a alocação na disciplina de Química Geral Experimental II, utilizando uma mistura bem mais simples como água e sal. Os estudantes aprenderiam a técnica e seus princípios elementares e na disciplina de Química Orgânica Experimental poderia ser dado o foco na destilação fracionada, que envolve outros conceitos, além da aplicação da técnica anteriormente aprendida na disciplina inicial.

O reajuste deste experimento ajustaria a prática para o atendimento dos seguintes Princípios da QV:

1. Economia atômica
2. Síntese com reagentes de menor toxicidade;
3. Desenvolvimento de compostos seguros;
4. Diminuição de solventes auxiliares;
5. Desenvolvimento de compostos degradáveis;
6. Análise em tempo real para a prevenção da poluição;
7. Química segura para a prevenção de acidentes.

O objetivo apresentado pelo roteiro determina que através dos experimentos serão desenvolvidos os conhecimentos sobre separação de dois líquidos com grande diferença de ponto de ebulição. As alterações propostas preservam o objetivo original, além de estarem dentro dos requisitos propostos pelos princípios da QV. Sendo este

um experimento simples, é possível evitar riscos de acidente e contaminação utilizando substâncias menos complexas e mais inócuas para o aprendizado da técnica.

A leitura e a análise dos roteiros das apostilas revelam que, de modo geral, as aulas práticas das disciplinas de conteúdos específicos de química do curso de formação inicial de professores não levam em conta princípios de sustentabilidade, nem foi pensado à luz dos Princípios da QV.

Acreditamos que, em partes, essa situação se deve ao fato de o curso não ter sofrido nenhuma reforma curricular desde sua criação, e que inúmeras atualizações legais e possibilidades de inovação do campo do ensino de química ainda não foram consideradas na proposição de um curso de formação inicial de professores que se atente à formação atualizada dos futuros professores, que os capacitem para uma atuação crítica e atenta aos problemas socioambientais da nossa era.

Entretanto, a análise detalhada dos experimentos selecionados evidencia que é possível, mesmo sem reformular o currículo como um todo, promover adequações dos roteiros de forma a incluir esses princípios em sua execução.

Posto isso, reforçamos que, a inserção de práticas pautadas nos Princípios da QV e da sustentabilidade nos currículos da formação de professores pode, além de contribuir para o incentivo de uma consciência ambiental frente ao cenário de crises socioambientais, pode contribuir também para o início das discussões sobre EA na formação dos estudantes, essencial para preparar os futuros professores a abordarem questões socioambientais de maneira crítica e reflexiva, quiçá para sua implementação no curso.

7 PRODUTO EDUCACIONAL

Essa pesquisa apresenta como contribuição para o ensino de Química a oportunidade da concretização de práticas educacionais mais sustentáveis, bem como pela oportunidade de entrelaçamentos entre a formação do educador químico a partir do olhar da QV e da sustentabilidade.

Partindo desta perspectiva, e objetificando alcançar o maior público presente em laboratórios de aulas práticas experimentais (sejam eles, professores, técnicos e estudantes de graduação ou pós-graduação), desenvolveu-se um infográfico informativo na intenção de que possa ser facultado a laboratórios de aulas experimentais de Química. O material também será cadastrado na Plataforma EduCAPES para que possa ser disponibilizado para o uso por outras instituições de ensino.

De acordo com Teixeira, a infografia é:

(...) a integração entre texto e imagem usada para explicar uma série de coisas que existem no nosso planeta e no universo, (...) tem a missão de nos trazer informações visuais que nos levam a conhecimentos incríveis através da arte e da informação. (TEIXEIRA, 2010 p.9)

A ideia deste infográfico é conceituar a prática experimental aliada a QV e a sustentabilidade de forma atraente, clara e resumida, utilizando textos curtos e imagens com o objetivo de difundir os temas debatidos neste trabalho. O infográfico poderá ser compartilhado através de e-mail, redes sociais, anexado em bancos de dados, repositórios acadêmicos, conferências, workshops, entre outras opções de divulgações acadêmicas.

Para melhor demonstrar sua confecção, as Figuras 5 e 6 apresentam a imagem do infográfico elaborado a partir desta pesquisa.

Na página 1 é elucidado sobre o que é a QV e apresenta-se os seus 12 princípios. Na página 2 é apresentado um passo-a-passo de adaptações de aulas práticas aos princípios da QV e os principais pontos de preocupação de como desenvolver estrategicamente os experimentos de forma a reduzir danos e risco à saúde e uma tabela com possíveis substituições.

Figura 5: Parte 1 do infográfico informativo

PRÁTICAS VERDES

O PAPEL DA QUÍMICA VERDE NA REDUÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM LABORATÓRIOS EDUCACIONAIS

A conscientização ambiental e a promoção de uma cultura de sustentabilidade, por meio de práticas como a Química Verde, a reciclagem e a análise do impacto de produtos químicos no meio ambiente, são ferramentas essenciais para redução de possíveis impactos ambientais causados em laboratórios educacionais.

Química Verde (QV) é definida como 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 ¹

12 PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE²



12 PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE E SUAS JUSTIFICATIVAS²

Prevenção	É melhor prevenir a formação de resíduos do que tratá-los posteriormente
Economia atômica	Os métodos sintéticos devem ser desenvolvidos para maximizar a incorporação dos átomos dos reagentes nos produtos desejados
Síntese com reagentes de menor toxicidade	As metodologias sintéticas devem ser projetadas para usar e gerar substância que possua pouca ou nenhuma toxicidade para a saúde humana e o meio ambiente
Desenvolvimento de compostos seguros	Os produtos químicos deverão ser desenvolvidos para possuírem a função desejada, apresentando a menor toxicidade possível
Diminuição de solventes e auxiliares	A utilização de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação etc.) deverão ser evitadas quando possível, dando preferência ao uso de substâncias inócuas no processo
Eficiência energética	Os métodos sintéticos devem ser conduzidos sempre que possível à pressão e temperatura ambientes, diminuindo seu impacto econômico e ambiental
Uso de matéria-prima renovável	Sempre que possível utilizar matéria-prima renovável. O uso de biomassa como matéria-prima deve ser priorizado no desenvolvimento de novas tecnologias
Redução do uso de derivados	Uso de reagentes bloqueadores, de proteção ou desproteção e modificadores temporários deverão ser minimizados ou evitados quando possível
Catálise	Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são superiores aos reagentes estequiométricos
Desenvolvimento de compostos degradáveis	Produtos químicos deverão ser desenvolvidos para a degradação inócua de produtos tóxicos, não persistindo no ambiente
Análise em tempo real para a prevenção da poluição	As metodologias analíticas precisam ser desenvolvidas para permitirem o monitoramento do processo em tempo real, para controlar a formação de compostos tóxicos
Química segura para a prevenção de acidentes	As substâncias usadas nos processos químicos deverão ser escolhidas para minimizar acidentes em potencial, tais como explosões e incêndios

Fonte: Criação da autora

Figura 6: Parte 2 do infográfico informativo

PRÁTICAS VERDES

O PAPEL DA QUÍMICA VERDE NA REDUÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM LABORATÓRIOS EDUCACIONAIS

ADAPTANDO AULAS PRÁTICAS AOS PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE³

PASSO 1

Consulte as Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) para obter informações detalhadas sobre a toxicidade e o manuseio seguro de qualquer substância utilizada nas aulas.

- www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/ppdi/pdi-fps-p-35_tarjado-parte-2.pdf

PASSO 2

Identificar se e quais Princípios da Química Verde são atendidos no experimento proposto para a aula prática:

- Se o roteiro atende aos Princípios, nada precisa ser adaptado;
- Se o roteiro não atende aos Princípios, sugerimos que seja alterado ou adaptado para assegurar a sustentabilidade das aulas e a redução de seu impacto ambiental.

PASSO 3

Conhecendo o que cada Princípio da QV propõe, Identifique possíveis alterações no roteiro da aula:

- Pesquise se já existem práticas alternativas para o que está sendo proposto no roteiro original;
- Pesquisar ou proponha, que somente algumas partes do roteiro original sejam adaptadas ou substituídas.

PASSO 4

- Reescreva o roteiro da aula;
- Teste todas as novas etapas;
- Assegure-se que o objetivo central da aula seja mantido.

SUGESTÕES PARA ADAPTAÇÕES À LUZ DOS 12 PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE³

Realizar experimentos em microescala	Neutralizar soluções antes do descarte
Substituir reagentes e solventes	Reduzir o uso de solventes
Planejar experimentos minimizando desperdícios	Promover a conscientização e monitorar a geração dos resíduos
Precipitar metais para facilitar a separação	Utilizar reagentes que originam substâncias inócuas ou menos tóxicas como produto
Dar preferência ao uso de matérias-primas renováveis	Sempre que possível, realizar experimentos em temperatura ambiente
Substituir procedimento em banho de óleo por microondas	Utilizar catalisadores sólidos heterogêneos

REFERÊNCIAS

1. ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. Química Verde: Teoria e Prática. São Paulo: Editora UNESP, 2025. Disponível em: <https://api.metabooks.com/api/v1/asset/mmo/file/08a89d5ae46541a8acc9bcd5eec5812f?access_token=6d672dd3-9af4-4dc1-8fd1-80028abddaa1a>

2. US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Presidential Green Chemistry Challenge. Química Verde no Brasil: 2010-2030. Ed. rev. e atual. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. Disponível em: <https://repositorio.mct.gov.br/bitstream/mctc/5184/1/2010_quimica_verde_no_brasil_2010-2030.pdf>

3. CRUZ, Camila Conceição da. Química verde e sustentabilidade: contribuições para a formação inicial de professores de Química. 2025. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado “Química Verde e Sustentabilidade: contribuições para formação inicial de professores de Química”³ apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ensino de Química (PEQui) do Instituto de Química da UFRJ - 2025.

Autoras:
Ma. Camila Conceição Cruz - <http://lattes.cnpq.br/1621595757844969>
Profª Drª Juliana Milanez - <http://lattes.cnpq.br/0600549075776976>

Fonte: Criação da autora

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa destaca a importância da relação entre a QV e a sustentabilidade na formação inicial de professores de Química, salientando como estes pontos deveriam ser incorporados para uma experimentação sustentável e para uma formação interdisciplinar dos futuros professores acerca desses tópicos e da própria possibilidade de EA nos currículos. Apesar da existência de leis e diretrizes focadas para a importância com o cuidado e a preservação ambiental, as práticas laboratoriais da educação ainda possuem desafios que necessitam ser ultrapassados, principalmente na educação superior.

Observa-se que o curso de origem do material analisado ainda não se adaptou para inserção da EA em seu currículo, o que pôde ser observado pela matriz curricular apresentada, ao longo das discussões de orientação para o desenvolvimento dessa pesquisa, bem como por meio de pesquisa anterior desenvolvida por Milanez, Cipriano e Höels (2020) que analisaram o Projeto Político Pedagógico (PPP) do mesmo curso. Os autores constataram que o documento balizador do curso “está muito distante de trazer as temáticas ambientais em sua concepção”, denotando o desafio de inserção e execução da EA em todos os níveis de ensino mesmo após tantos anos de estabelecidas as políticas públicas nacionais que assim a exigem (MILANEZ, CIPRIANO & HÖELZ, 2020, p.204).

De fato, a análise dos roteiros das práticas das disciplinas de Química Geral II, Inorgânica I, Analítica Qualitativa, Orgânica I e II, evidenciaram que muitos roteiros não atendem integralmente aos princípios da QV e nem demonstram uma preocupação ambiental com os produtos formados. No entanto, essa pesquisa propõe alternativas metodológicas que possibilitam uma maior adequação desses experimentos aos princípios sustentáveis, a exemplo, a substituição de reagentes tóxicos por reagentes biodegradáveis ou menos agressivos e a implementação de processos que minimizem a geração de resíduos tóxicos. Sendo assim, foi possível observar que os novos experimentos sugeridos, além de contribuir para o aprendizado das técnicas objetificadas, também formará professores mais conscientes do impacto ambiental que as práticas podem causar, tornando-os agentes transformadores no processo de ensino-aprendizado. As abordagens propostas também se alinham aos 17 ODS, com destaque para a educação de qualidade, consumo sustentável e ações climáticas.

Assim sendo, pode-se afirmar que essa dissertação alcançou seus objetivos propostos, evidenciando a importância da QV para os professores em formação através de metodologias alternativas sustentáveis para os experimentos. Ressaltando que as propostas foram feitas de forma teórica, através de análises críticas das práticas laboratoriais, a implementação dessas alternativas verdes podem se deparar com alguns desafios, como o engajamento e adoção da comunidade acadêmica, a adaptação a este processo, o desenvolvimento de outras alternativas e a integração curricular, exigindo um esforço contínuo para difundir os temas aqui abordados

A criação do infográfico torna-se relevante como um produto educacional por ser acessível e de fácil distribuição para afixação nos laboratórios, assim como promove a acessibilidade de conceitos de forma visual e objetiva. Esse produto busca facilitar a disseminação dos princípios da QV entre todos os usuários do espaço, mas especialmente os técnicos, professores e estudantes em formação. Além disso, pode-se inserir nas apostilas ou nos roteiros os principais conceitos da QV, com seus princípios conectando-se à prática que está sendo realizada e, dessa forma, contribuindo teoricamente com a inserção da QV alinhada aos conteúdos das disciplinas de Química.

Como prospecção desta pesquisa, pode-se apontar um avanço significativo na implementação de práticas sustentáveis e na formação inicial dos professores de química, como:

- A expansão do debate da QV na formação docente;
- A aplicação dos experimentos sustentáveis em diferentes contextos educacionais;
- Pesquisa e inovação na experimentação sustentável;
- Criação de materiais didáticos ou digitais com foco no desenvolvimento de experimentos sustentáveis.

Portanto, a inclusão dos princípios da QV nos experimentos de química possui uma significativa relevância como avanço na construção de práticas mais sustentáveis e na formação de professores mais preparados para combater os desafios ambientais existentes. Ao implementar metodologias baseadas na EA e na sustentabilidade, cria-se um enriquecimento quanto aos conceitos de química e promove o desenvolvimento de uma sociedade consciente e engajada com a preservação do meio ambiente

9 REFERÊNCIAS

ABREU, D. G.; COSTA, C.R.; ASSIS, M.D.; IAMAMOTO, Y. **Uma proposta para o ensino da Química Analítica Qualitativa**. Química Nova, n° 29, p. 6, dezembro de 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/XbrHYFHwr9bYLr38tM4J7Cj/> Acessado em: 19 fev. 2025.

AMARAL, A.C. Morre Ignacy Sachs, pensador do ecodesenvolvimento, aos 96. **Folha de São Paulo**, 2023. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/blogs/ambiencia/2023/08/morre-ignacy-sachs-pensador-do-ecodesenvolvimento-aos-96.shtml>. Acesso em: 19 mar. 2025

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Química Verde: Teoria e Prática**. New York: Oxford University Press, 1998.

ANDRADE, R. S., ZUIN, V. G. **A Experimentação na Educação em Química Verde: uma Análise de Propostas Didáticas Desenvolvidas por Licenciandos em Química de uma IES Federal Paulista**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. 2021. São Paulo, SP. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/25960> Acessado em: 14 de março 2025.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acessado em: 07 fev. 2025

BRASIL. **Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acessado em: 07 fev. 2025

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. 1 Acesso em: 20 mar. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014**. Aprova o Plano Nacional de Educação – PNE e dá outras providências. Brasília, DF, 2014. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm. Acessado em: 07 fev. 2025

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda Global 21**. Brasília, s.d. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>. Acesso em: 19 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima.html>. Acesso em: 20 mar. 2025.

BRASIL. **Resolução CNE/CP nº 2, de 15 de junho de 2012.** Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental. Brasília, DF, 2012. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rcp002_12.pdf Acessado em: 15 fev. 2025.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430/2011.** Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 de maio de 2011. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.do wnload&id=17780 Acessado em: 15 fev. 2025

CALFA, B. A., TOREM, M.L. **Biorreagentes - aplicações na remoção de metais pesados contidos em efluentes líquidos por biossorção/bioflotação.** Minas, Ouro Preto, 60(3): 537-542, jul. set. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/6Bz3br9CtVgP6nV9ZxNGNWF/?lang=pt&format=pdf> Acessado em: 06 mar. 2025.

CANABARRO, M. I. **Processo de destilação simples aplicado como alternativa de pré-tratamento para lixiviado de aterro sanitário.** 2022. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Rio Grande do Sul. 173 p. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/26208/DIS_PPGEC_2022_CANABARR O_MARIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acessado em: 25 fev. 2025

DICKMANN, I., DICKMANN, I. (org.) **Educação Brasil.** Chapecó. Veranópolis: Livrologia, 2020.

FAPESP (São Paulo). O articulador da Rio-92. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, SP, 2016. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-articulador-da-rio-92/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

FILHO, G. M. ECODESENVOLVIMENTO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: CONCEITOS E PRINCÍPIOS. **Textos de Economia.** Florianópolis, v. 4, a. 1, p. 131-142. 1993. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/economia/article/view/6645>. Acessado em: 19 mar. 2025.

FRANCESCON, J., E. **Esterificação via enzimática. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química com Ênfase em Ambiental).** Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ecoville, Curitiba, 2016. 58 p. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9134/2/CT_COQUI_2016_2_17.pdf Acessado em: 28 fev. 2025.

GCC – Green Chemistry Commitment. 2020. Disponível em: <https://www.beyondbenign.org/he-student-learning-objectives/>. Acessado em: 14 jun. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo. Atlas, 2007.

GUIMARÃES. T., S. **Esterificação assistida por micro-ondas.** Rio de Janeiro:

Instituto Militar de Engenharia. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2017. 96p. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/9127/1/Disserta%20c3%a7%20a3o%20-%20Thatiane%20%20Guimaraes%202017.pdf> Acessado em: 28 fev. 2025

KIM, M., KIM, C., JO, W., CHAI, K., PARK, H., PARK, J. **Nanoplaca de nafion/grafite- bismuto com uma unidade de vibração para detecção portátil de íons de metais pesados**. *Electrochimica Acta*, [s.l.], v. 423, 136796p. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925400524015260>. Acessado em: 18 fev. 2025.

LABSYNTH. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)**. Hidróxido de Amônio. 2022. Disponível em: <https://www.labsynth.com.br/fispq/FISPQ-%20Hidroxido%20de%20Amonio.pdf>. Acessado em: 15 fev. 2025.

LOPES, J. R. **Síntese de nanopartículas de prata (NpsAg) em soluções aquosas de fibroína de seda e gelatina**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campina - Faculdade de Engenharia Mecânica, São Paulo. 2017. 115 p. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=472807> Acessado em: 25 fev. 2025

LOUREIRO, C. F. B. Crítica ao teroricismo e ao praticismo na educação ambiental. *In: Neto, A. C.; Filho, F. D. de Macedo; Batista, M. S. S. (Orgs). Educação Ambiental: caminhos traçados, debates políticos e práticas escolares*. Brasília: Líber Livro Editora, 240 p. 2010.

MEDEIROS, R. **Sustentabilidade**. Portal da Educação Ambiental. Seção: Recursos Educacionais. 2022. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/sustentabilidade/#:~:text=Sustentabilidade%20%C3%A9%20a%20caracter%C3%ADstica%20ou,n%C3%ADvel%2C%20por%20um%20determinado%20prazo> . Acessado em 16 de março de 2025

MARCELINO, L. V.; MARQUES, C. A. **A pesquisa em Ensino de Química Verde: temas e tipologias de estudos**. *Rev. Educ. Ciên. e Mat.* v.19, n. 42, 2023. p. 232-254.

MERCK. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)**. Nitrato de Mercúrio. 2015 Disponível em: <https://www.icb.ufmg.br/institucional/administracao-central/gerencias/residuos/fispq-fichas-de-informacoes-de-seguranca-de-produtos-quimicos/474-nitrato-de-mercuro-ii/file> Acessado em: 15 fev. 2025

MORALES, A. G. **A formação do profissional educador ambiental: reflexões, possibilidades e constatações**. 2 ed. Ponta Grossa: Editora UEPG. 223 p. 2012.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acessado

em: 03 set. 2024.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em 19 mar. 2024.

POLICARPO, M. **O que é Desenvolvimento Sustentável** – Origem e Análise do Conceito. 2024a. Disponível em: <https://123ecos.com.br/docs/o-que-e-desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 19 mar. 2024

POLICARPO, M. **Lester Brown** – Biografia e contribuições para a sustentabilidade. 2024b. Disponível em: <https://123ecos.com.br/docs/lester-brown/>. Acesso em: 19 mar. 2024

POLICARPO, M. **Ecodesenvolvimento** – O que é? Paradigmas e Análise do Conceito. 2024c. Disponível em: <https://123ecos.com.br/docs/ecodesenvolvimento/>. Acesso em: 19 mar. 2024

QUÍMICA CREDIE. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)**. Formol. 2012. Disponível em: <https://www.farmacia.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/10/FISPQ-Formol-6.pdf> Acessado em: 17 fev. 2025.

RIZZON, L. A., MENEGUZZO, J. **Sistema de produção de destilado de vinho**. 2008. Sistema de produção EMBRAPA, n° 16. ISSN 1678-8761 p. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinho/SistemaProducaoDestiladoVinho/destilacao.htm> Acessado em: 25 fev. 2025.

SANDRI, M.C.M, FILHO, M.S. **Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química**. Educação Química, vol.30, n° 4 Ciudad de México, 2019. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2019000400034. Acessado em: 19 de março de 2025.

SCABIN, D. **Educação Ambiental Interativa**. Semil, 2022. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/sustentabilidade/#:~:text=Sustentabilidade%20%C3%A9%20a%20caracter%20ADstica%20ou,n%C3%ADvel%2C%20por%20um%20determinado%20prazo> . Acesso em: 19 mar. 2025.

SILVA, J.; ALMEIDA, R. **Sustentabilidade e Ensino de Química: Uma Abordagem Necessária**. São Paulo: Editora Ciência e Educação, 2020. 150 p.

SOUSA, P. J. P. G. **Remoção de Arsénio por Compostos de Ferro e por Ferro Nanoparticulado**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Engenharia de Minas e Geo-Ambiente, Porto. 2013. 83 p. Disponível em: https://sigarra.up.pt/feup/en/pub_geral.show_file?pi_doc_id=11782 Acessado em: 25 fev. 2025

SUSTENTABILIDADE. In: DICIO, **Dicionário Online de Português**. Michaelis, 2025. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno->

[portugues/busca/portugues- brasileiro/sustentabilidade/](#));
<https://dicionario.priberam.org/sustentabilidade>;
<https://www.dicio.com.br/sustentabilidade/>. Acesso em: 16 março 2025.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.

TEIXEIRA, T. **Infografia e jornalismo**: conceitos, análises e perspectivas. Universidade Federal da Bahia - Salvador : EDUFBA, 2010. 120 p. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/20642/3/Infografia%20e%20Jornalismo.pdf>
 Acessado em: 05 mar. 2025.

TEXEIRA, A. (2021). **Apostila de aula práticas Química Analítica Experimental**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé. p.103.

TUNDO, Pietro. Green Chemistry Education: Changing the Course of Chemistry. PDF. Disponível em: <<https://old.iupac.org/projects/posters01/tundoGCE01.pdf>>.
 Acesso em: 19 mar. 2025.

UFRJ, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ). **Resolução nº 343 de 2024** alterada. PDF. Disponível em: https://consuni.ufrj.br/images/Resolucoes/Resol_343_de_2024alterada.pdf. Acesso em: 18 de março de 2025.

UNESCO. **Educação para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**: Objetivos de Aprendizagem. Paris: UNESCO, 2017. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252197> Acessado em: 15 abr. 2024.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Presidential Green Chemistry Challenge**. Química verde no Brasil: 2010-2030. Ed. rev. e atual. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

USP. **Sustentabilidade**. LASSU, Laboratório de Sustentabilidade. São Paulo, SP, s.d. Disponível em <http://www.lassu.usp.br/sustentabilidade/conceituacao/>. Acessado em: 19 mar. 2025.

WCED. **World Commission on Environment and Development**. *Our Common Future*. Oslo: WCED, 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acessado em em: 10 set. 2024.

WYSOCKA, J.; CRACÓVIA, S.; RYL, J.. **Avaliação da eficiência de inibição da corrosão por ácido cítrico e da cinética de passivação de ligas de alumínio em meios alcalinos por meio de monitoramento de impedância dinâmica**. *Electrochimica Acta*, [s.l.], v. 258, p. 1463-1475, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001346861732577X>.
 Acessado em: 15 fev. 2025

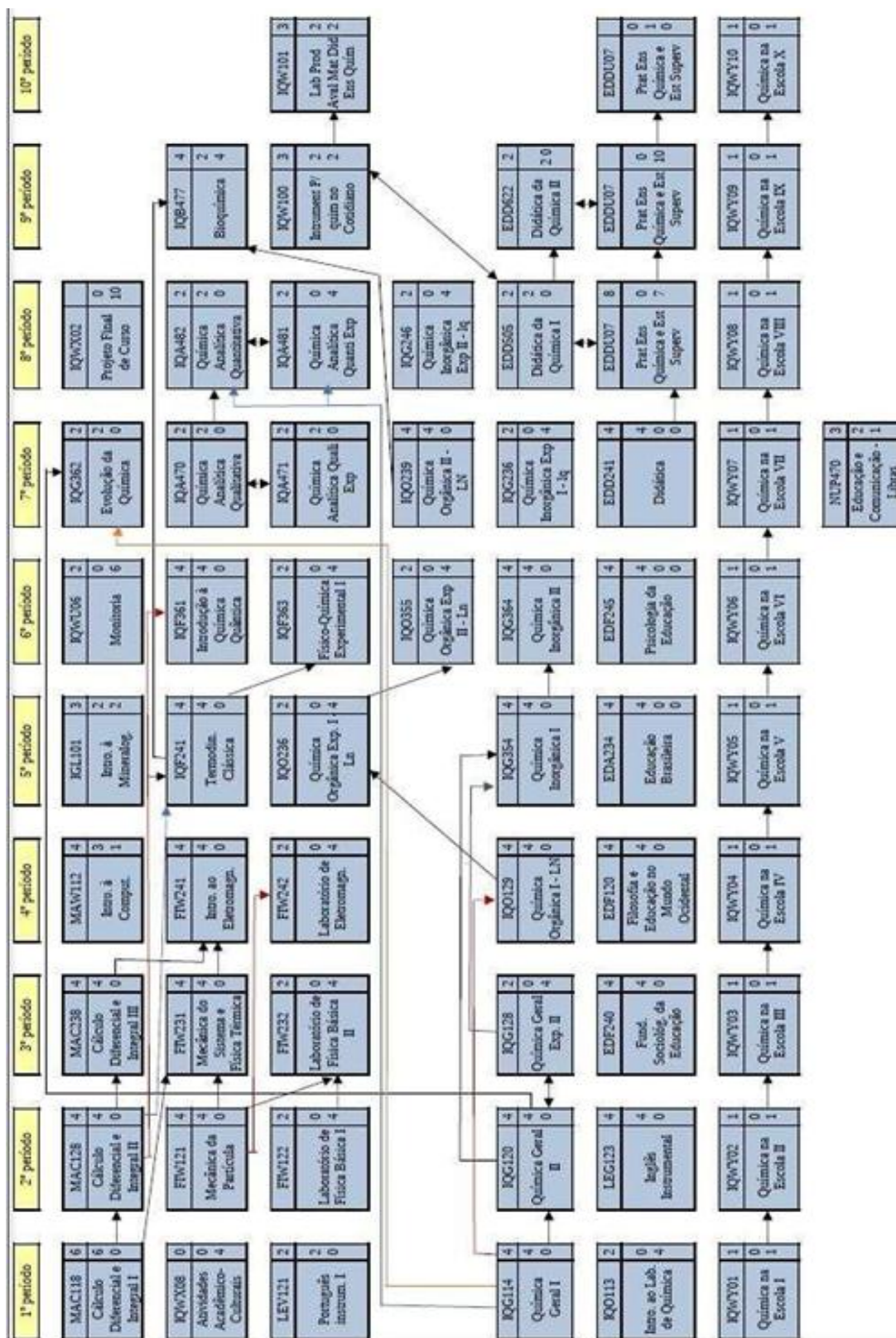
WWF BRASIL. **Desenvolvimento Sustentável**. s.d. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/educacaoambiental/conceitos/desenvolvi>

[mentosustentavel/#:~:text=Para%20ser%20alcan%C3%A7ado%2C%20o%20desenvolvimento,ambiente%20e%20o%20capital%20humano.>.](#) Acesso em: 15 agosto. 2024.

ZUIN, V. **A Inserção da Dimensão Ambiental na Formação de Professores de Química**. Campinas: Átomo, 2011.

ANEXOS

Anexo A: Matriz curricular do curso de Licenciatura em Química



Anexo B: Prática 4 - Sistema Coloidais

4. SISTEMAS COLOIDAIIS

I. INTRODUÇÃO

Nas aulas práticas anteriores discutimos soluções que representam um tipo de mistura de substâncias, os quais, por não diferenciarmos mais soluto e solvente são chamadas soluções verdadeiras.

Existem outros tipos de misturas. Podemos misturar areia da praia e água e após agitação observamos a olho nu os grãos (ou partículas) em suspensão. Com o tempo estas partículas sedimentam por ação da gravidade. Temos ainda um outro tipo de solução a qual é denominada dispersão coloidal. Um colóide representa um estado intermediário entre uma solução e uma suspensão. O termo colóide, do grego, significa cola e na época (1861) referiu-se às soluções de goma arábica substância sem natureza definida e de natureza viscosa conhecida como macromolécula.

Colóides são misturas heterogêneas de pelo menos duas fases diferentes, com a matéria de uma das fases na forma finamente dividida (sólido, líquido ou gás) denominada fase dispersa, misturada com a fase contínua (sólido, líquido ou gás) denominada meio de dispersão. A ciência dos colóides está relacionada com o estudo dos sistemas nos quais pelo menos um dos componentes da mistura apresenta uma dimensão no intervalo de 1 a 1000nm ($1\text{nm} = 1 \times 10^{-9}$ metros)^[2].

Na tabela 1 são mostrados os diferentes tipos de dispersões coloidais.

Tabela 1 – Classificação dos colóides de acordo com as fases dispersa e de dispersão

Colóide	Fase dispersa	Fase de dispersão	Exemplo
Aerosol líquido	Líquido	Gás	Neblina, desodorante
Aerosol sólido	Sólido	Gás	Fumaça poeira
Espuma	Gás	Líquido	Espuma de sabão
Espuma sólida	Gás	Sólido	Isopor - poliestireno
Emulsão	Líquido	Líquido	Leite, maionese, manteiga
Emulsão sólida	Líquido	Sólida	Margarina, opala, pérola
Sol	Sólido	Líquido	Tinta, pasta de dente
Sol sólido	Sólido	Sólido	Vidro e plástico pigmentado

Como vemos nos exemplos mostrados na Tabela 1, as dispersões coloidais fazem parte da nossa vida diária desde os primórdios da civilização humana. Elas estão presentes nas nossas cozinhas, no meio ambiente, na purificação da água que consumimos, na lavagem de nossas roupas, nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, tintas, cosméticos, etc.

Algumas características das substâncias que formam colóides são: baixas difusões em água, incapacidade em atravessar membranas, não cristalizam facilmente, geralmente são compostos com elevada massa molar como proteínas (gelatina, por exemplo), polissacarídeos (o amido), polímeros naturais e sintéticos ou materiais inorgânicos que formam agregados em meio aquoso de tal forma que a partícula possui dimensões coloidais (óxidos e hidróxidos metálicos). Soluções de macro-moléculas são misturas homogêneas, mas são consideradas colóides porque a dimensão da macromolécula está no intervalo do tamanho coloidal e apresentam as propriedades características dos colóides. Algumas propriedades das dispersões coloidais são: espalham a luz visível (dispersões coloidais geralmente possuem um aspecto leitoso), não precipitam por ação da gravidade, mas por centrifugação, possuem carga elétrica superficial, etc.

Jafelcci Jr, M.; Varanda, L.C. – O Mundo dos Colóides – Química Nova na Escola – nr 9 – 1999 – 9-13.

Shaw, D.J. – Introdução à Química dos Colóides e de Superfícies – trad. Maar, J.H. – Ed. Edgard Blucher/EDUSP – São Paulo - SP

II. OBJETIVO

Estudar alguns métodos de obtenção de colóides e algumas de suas propriedades, tais como a carga e área superficial e, o espalhamento de luz. Além disso, estudaremos o conceito de estabilidade coloidal.

III. PARTE EXPERIMENTAL

III.1 Preparação de colóides

III.1.1 Processos de condensação

a) Fe(OH)_3 coloidal

Adicionar 3-4 gotas de solução saturada de FeCl_3 num tubo de ensaio com 3mL de água bem quente.

Repetir o procedimento utilizando água fria e comparar as cores obtidas.

Recolher o hidrossol Fe(OH)_3 ao frasco na capela.

b) As_2S_3 coloidal

Num tubo de ensaio com 3-4 mL de solução saturada de As_2S_3 aquecida passar uma corrente de ácido sulfídrico, H_2S , obtido a partir de uma solução de HCl e pirita num aparelho de Kipp e observar.



ATENÇÃO: O GÁS SULFÍDRICO É VENENOSO

Escreva a equação de obtenção do gás sulfídrico no Kipp

Observar o colóide formado com ajuda do efeito Tyndall. Para tal, colocar o tubo de ensaio numa caixa escura e passar um feixe de luz através da dispersão. Colocar o As_2S_3 coloidal (sem turvação) no frasco apropriado na capela.

III.1.2. Processo de dispersão

a) Num tubo de ensaio colocar 1-2mL de água e 2-3 gotas de óleo vegetal. Agitar bem e observar

b) Num tubo de ensaio colocar 1-2mL de água destilada. Adicionar 2-3 gotas de óleo vegetal e 3-4 gotas de sabão ou detergente. Agitar bem e observar.

Observar a diferença entre os dois procedimentos acima e explicar.

III.2 Propriedades das partículas coloidais

III.2.1 Adsorção

Colocar em dois tubos de centrifuga 2mL de solução de azul de metileno. Num dos tubos colocar um pouco de carvão ativo e no outro, um pedaço de carvão. Aquecê-los em banho-maria por algum tempo, centrifugar e comparar a cor dos líquidos sobrenadantes nos dois tubos.

Pela adsorção seletiva de íons existentes no meio em que se originam, as partículas coloidais podem adquirir carga elétrica.

III.2.2. - Diálise.

Introduzir um saquinho de papel celofane contendo solução de iodeto de potássio, KI, e dispersão de amido num béquer de 100 mL contendo água destilada. Ao final da aula constatar a presença do íon iodeto no dialisado. O amido, por estar no estado coloidal, não consegue atravessar o papel celofane que age como membrana semipermeável.

Usar solução de peróxido de hidrogênio 3-5 % para formar, no dialisado, iôdo molecular, I_2 . Acrescentar amido para confirmar a diálise.

Escreva a equação de oxidação do iodeto pelo peróxido de hidrogênio.

III.3. Destruição de colóides - Coagulação.

III.3.1 - Coagulação mútua de colóides.

Num tubo de ensaio misturar 0,5 mL do sol de $Fe(OH)_3$ com 0,5 mL do sol de As_2S_3 .

Observar o que ocorre.

III.3.2. Coagulação pela ação de eletrólitos.

Realizar os três ensaios simultaneamente para comparação.

a) Num tubo de ensaio com 1 mL do sol de As_2S_3 adicionar 2 gotas de solução de NaCl 1,0 mol/L. Misturar e OBSERVAR o que acontece.

b) Repetir a experiência usando no lugar da solução de NaCl solução de cloreto de magnésio, $MgCl_2$, ambas 1,0 mol/L.

c) Repetir novamente usando a solução de cloreto de alumínio, $AlCl_3$, 1,0 mol/L como eletrólito.

Onde o efeito coagulante foi maior?

III.4. Colóide Protetor.

III.4.1 Prata coloidal. Realizar os dois ensaios simultaneamente para comparação.

a) Num tubo de ensaio com 1-2 mL de água destilada adicione 3 gotas da solução de $AgNO_3$ 0,1 mol/L e 3 gotas de solução aquosa de NH_3 . Adicionar 5 gotas de formol, aquecer em banho-maria e observar o que acontece.

b) Num tubo de ensaio misture 3-4 mL de dispersão de gelatina a 1%, 3 gotas de solução de $AgNO_3$ e 3 gotas de solução aquosa de NH_3 . Adicione 5 gotas de formol, aqueça em banho-maria e observar.

Anexo C: Experimento 2: Elementos do bloco p – Grupo 13

EXPERIMENTO 2: Elementos do bloco p – Grupo 13

1. Objetivo: Estudar os elementos do Grupo 13 quanto à reatividade química

2. Parte Experimental

2.1. Materiais

- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| - Espátula | - funil de buchner |
| - lixa fina | - capsula de porcelana |
| - 10 Tubos de ensaio | - Papel de tornassol – azul e rosa |
| - Bico de Bunsen | - Placa de Petri |
| - Tela de amianto | - Gelo picado |
| - bastão de vidro | - Cadinho de porcelana |
| - Indicador de pH universal | - Suporte para tubo de ensaio |
| - Béquer 50 mL | - Lixa fina |
| - Béquer 250mL | - Tripé |
| - Banho-Maria | - Papel de filtro |
| - Bastão de vidro | - Funil |
| - Termômetro | - Funil de Büchner |
| - suporte para tubo de ensaio | - Suporte Universal |
| - fósforo | - funil |

2.2. Reagentes

- | | |
|--|---------------------------------------|
| - Papel alumínio | - Ácido sulfúrico |
| - Tiras de alumínio | - Hidróxido de sódio |
| - Iodo | - Solução de amônia |
| - Iodeto de potássio | - Ácido bórico |
| - Nitrato de mercúrio | - Metanol |
| - Ácido nítrico | - Açúcar |
| - Hidróxido de amônio | - Solução 10% de alumínio de potássio |
| - Sulfato de alumínio | - Água destilada |
| - Bórax anidro ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) | - Hidróxido de potássio (4 M) |
| -Gelo | |

2.3. Procedimento Experimental

2.3.1. Obtenção do ácido bórico

Colocar em um béquer: 1 g de bórax anidro ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) e 10 mL de água destilada. Em seguida, aquecer suavemente, o béquer até a dissolução total do bórax (se após a dissolução do bórax a solução tornar-se turva, é necessário fazer sua filtração a quente)

a) Testar o caráter ácido-básico da solução com papel de tornassol (meio básico = papel rosa fica azul; meio ácido = papel azul fica rosa) e explicar o resultado obtido através de reações e comentários.

b) Aquecer a solução anterior até a 80°C (em banho-maria) e adicionar, lentamente, 1mL de solução de HCl 6 mol/L. Resfriar o béquer em uma cuba com gelo e observar os cristais de ácido bórico (H_3BO_3) formados. Filtrar por gravidade. Escrever a equação da reação.

2.3.2. Obtenção do éster metílico de ácido bórico – $B(OCH_3)_3$

Colocar alguns dos cristais de ácido bórico em cápsula de porcelana e gotas de ácido sulfúrico.

Adicionar 5 mL de metanol e inflamar cuidadosamente. Observar a cor da chama. Discuta o caráter ácido básico do ácido bórico. Fazer na capela (gases tóxicos)

2.3.3. – Reatividade do alumínio metálico**- Procedimento 1**

Limpar uma pequena fita de alumínio com uma lixa e dobrá-la em um ângulo aproximado de 30°; Introduzir uma das extremidades em água. Observar.

Com a fita utilizada anteriormente, mergulhar em uma solução de nitrato de mercúrio por 2 minutos, ao retirar da solução, secá-lo com papel de filtro;

Introduzir uma das extremidades em água. Observar.

- Procedimento 2

Introduzir num tubo de ensaio contendo 2-3 mL de ácido nítrico concentrado uma placa ou fio de alumínio (lata de refrigerante) deixando em contato com o ácido durante 3-4 minutos;

Retirar o metal da solução e lavando-o cuidadosamente **sem agitar ou sacudir**. Observar;

Em dois tubos de ensaio colocar 2-3 mL de ácido clorídrico concentrado;

Em um dos tubos colocar uma placa ou fio de alumínio e no outro colocar a placa ou fio tratado com ácido nítrico no item 1;

Comparar os comportamentos.

2.3.4. Caráter ácido/básico

Preparar hidróxido de alumínio adicionando uma solução de hidróxido de amônio 2M a 5mL de solução de sulfato de alumínio 1M.

Filtrar e lavar o precipitado com quantidade abundante de água destilada.

Trate o hidróxido de alumínio com: a) solução de ácido sulfúrico; b) hidróxido do sódio.

2.3.5. Síntese do alúmen de potássio, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

O alúmen de potássio é um composto utilizado como coagulante na purificação de água, na indústria de papel e na produção de pickles. Uma maneira alternativa de escrever a fórmula do composto é: $Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$.

Procedimento:

Pesar 1g de alumínio. Caso não disponha de alumínio no laboratório, utilize lata de refrigerante.

Colocar o alumínio em um béquer de 250mL, e acrescente 50mL de uma solução 4M de KOH.

Deixar a mistura em reação até que a liberação de gás não seja mais observada.

Filtrar a mistura, coletando em um béquer de 250mL.

Adicionar ao filtrado 30 mL de uma solução 9M de ácido sulfúrico.

Colocar a mistura em banho de gelo e observe a formação dos cristais.

Filtrar os cristais e lave-os com água. Deixe secar a temperatura ambiente.

2.3.6. Propriedades adsorventes

Umedecer um tecido branco de algodão com solução a 10% de alúmen de potássio;

Deixar escorrer o excesso e a seguir adicionar uma solução de hidróxido de amônio;

Após 5 minutos lavar o tecido tratado, juntamente com outro não tratado, com solução de corante de sua escolha.

Aguardar 5 minutos, lavar bem os tecidos e comparar.

EXEMPLOS DE SOLUÇÕES DE CORANTES:

Solução nº 1 – pique a casca de uma cebola média e leve a ebulição com cerca de 20 mL de água;

Solução nº 2: - prepare um chá bem forte (um saquinho em dois copos de água);

Para o relatório considerar:

Descrever e interpretar os resultados obtidos nos testes realizados no laboratório. Utilizar reações químicas sempre que necessário.

Variação da reatividade das espécies no grupo.

O que são compostos anfóteros?

Anexo D: AULA 2 - Identificação e separação dos cátions dos Grupos I e II:

22

AULA 2. IDENTIFICAÇÃO E SEPARAÇÃO DOS CÁTIOS DOS GRUPOS I e II:

Os cátions do Grupo I (Pb^{2+} , Ag^+ e Hg_2^{2+}) são precipitados na forma de cloretos insolúveis, cloreto de chumbo (PbCl_2), cloreto de prata (AgCl) e cloreto de mercúrio I (Hg_2Cl_2), respectivamente.

A **tabela 2.1** mostra a solubilidade dos cloretos dos cátions deste grupo:

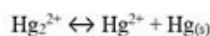
Tabela 2.1. Solubilidade em água dos Cloretos dos Cátions do Grupo I.

Cloreto	Solubilidade (g/L a 25 °C)	Solubilidade (mol/L a 25 °C)	Kps
Hg_2Cl_2	$3,8 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-7}$	$1,3 \times 10^{-18}$
AgCl	$1,79 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-10}$
PbCl_2	10	$3,95 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-5}$

O cloreto de chumbo, porém, é ligeiramente solúvel em água e, por esta razão, o chumbo nunca é completamente precipitado quando se adiciona ácido clorídrico diluído à amostra. Os íons chumbo restantes são, quantitativamente, precipitados com sulfeto de hidrogênio em meio ácido, junto com os cátions do grupo II.

Nota 1

O mercúrio forma compostos em dois estados de oxidação, +1 e +2, sendo que ambos são relativamente estáveis. No estado de oxidação +1, o íon existe como um dímero $^+\text{Hg}-\text{Hg}^+$, ou Hg_2^{2+} , este desproporciona de acordo com o equilíbrio abaixo. Os íons de mercúrio nestes dois estados de oxidação ficam em equilíbrio entre si, quando estão em presença de mercúrio metálico.



A constante de equilíbrio para esta reação pode ser expressa por:

$$K_{eq} = [\text{Hg}^{2+}] / [\text{Hg}_2^{2+}] = 1,2 \times 10^{-2}$$

Pelo valor de K_{eq} pode-se concluir que os compostos mercuriosos são estáveis à decomposição, em Hg^0 e Hg^{2+} , no entanto quando Hg^{2+} forma um sal pouco solúvel como HgS ou $\text{Hg}(\text{NH}_2)\text{Cl}$, ou um íon complexo como $[\text{HgCl}_4]^{2-}$, este equilíbrio é deslocado para a direita devido à remoção dos íons Hg^{2+} da solução.

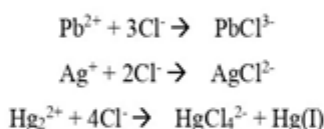
Grupo IIA: os cátions desse grupo formam sulfetos insolúveis em polissulfeto de amônio e KOH. Fazem parte desse grupo os cátions Hg(II), **Pb(II)**, Cu(II), Bi(III) e Cd(II).

Grupo IIB: os cátions desse grupo formam sulfetos solúveis em polissulfeto de amônio e KOH. Fazem parte desse grupo os cátions As(III), As(V), Sb(III), Sb(V), Sn(II) e Sn(IV).

QUESTÕES PRÉ-AULA:

- 1) Faça uma pesquisa nos livros da biblioteca e na internet sobre os elementos do Grupo I (Pb^{2+} ; Ag^+ e Hg_2^{2+}) e do Grupo II (Cu^{2+} ; Hg^{2+} ; Bi^{3+} ; As^{3+} ; Sn^{2+} e Sb^{3+}).
- 2) Complete as tabelas 2.2 e 2.3 e **escreva as reações em seu caderno de laboratório.**
- 3) Por que o cloreto de chumbo é mais solúvel do que os cloretos de prata e mercúrio (I)?
- 4) Por que é preferível utilizar solução de ácido clorídrico diluído e não sais de cloreto para precipitar os íons do grupo I?
- 5) Por que um leve excesso de HCl é usado na precipitação do 1º grupo de cátions, enquanto um grande excesso deve ser evitado?
- 6) Explicar por que o AgCl dissolve-se em meio amoniacal e reprecipita quando HNO_3 é adicionado.
- 7) Em que reações se baseiam a separação dos cátions do grupo IIA dos cátions do grupo IIB? Explique e dê exemplo da situação para um cátion de cada grupo A e B.
- 8) Antes da adição da TAA foi necessário fazer o controle do pH (NH_4OH até a solução ficar levemente alcalina e depois HCl até o pH ficar levemente ácido), por que?

O HCl é o reagente de grupo pois fornece simultaneamente os íons Cl^- e os íons H^+ , uma vez que o meio deve estar suficientemente ácido para evitar a precipitação dos oxicloretos de bismuto(III) (grupo IIA) e de antimônio(III) (grupo IIB). No entanto um grande excesso de ácido deve ser evitado para impedir a formação dos clorocomplexos dos cátions do grupo I, fracamente dissociados:



Os **cátions do Grupo II** reagem com sulfeto de hidrogênio, H_2S , em meio ácido.

Reação do grupo: formação de precipitados de cores diferentes:

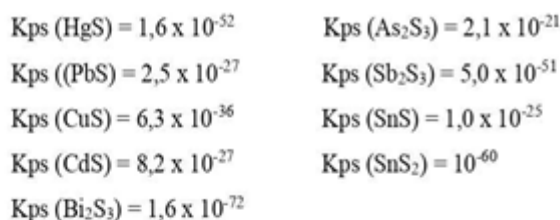
Preto: HgS , **PbS** e CuS

Amarelo: CdS , As_2S_3 , As_2S_5 e SnS_2

Laranja: Sb_2S_3 e Sb_2S_5

Marron: Bi_2S_3 e SnS

Características do grupo: os cátions do grupo II formam sulfetos pouco solúveis que são precipitados quando a solução moderadamente ácida é saturada com H_2S .



Uma solução de tioacetamida é usada para precipitar os sulfetos ao invés de borbulhar o gás H_2S diretamente na solução amostra. Este procedimento elimina, em parte, os odores desagradáveis e as características perigosas desse gás. O H_2S é produzido pela hidrólise da tioacetamida, tanto em meio ácido como em meio básico.



Os cátions do grupo II são, tradicionalmente, divididos em 2 subgrupos: grupo IIA ou subgrupo do cobre e o grupo IIB ou subgrupo do arsênio.

Tabela 2.2. Reações dos cátions do Grupo I

Reação	Reagentes	Resultados Ag ⁺	Resultados Pb ²⁺	Resultados Hg ₂ ²⁺
1.1	Adicionar 5 gotas de HCl (1 mol L ⁻¹)			
1.2	Ao ppt do ensaio 1.1 adicionar 5 gotas NH ₄ OH (1 mol L ⁻¹)			
2.1	Adicionar 5 gotas de HCl (1 mol L ⁻¹)			
2.2	Ao ppt do ensaio 2.1 adicionar água destilada quente			
3.1	Adicionar 2 gotas de NH ₄ OH (1 mol L ⁻¹)			
3.2	Ao ppt do ensaio 3.1 adicionar NH ₄ OH em excesso (10 gotas)			
4.1	Adicionar 5 gotas de NaOH (1 mol L ⁻¹)			
4.2	Ao ensaio 4.1 adicionar NaOH em excesso (10 gotas)			
5	Adicionar 5 gotas de H ₂ SO ₄ diluído			
6.1	Adicionar 5 gotas de KI (0,1 mol L ⁻¹)			
6.2	Adicionar ao ppt do ensaio 6.1 KI (0,1 mol L ⁻¹) em excesso (10 gotas)			
7.1	Adicionar 5 gotas de KI (0,1 mol L ⁻¹)			
7.2	Adicionar H ₂ O fervente ao ppt do ensaio 7.1 em banho maria (= 100 °C)			
8	Adicionar 5 gotas de K ₂ CrO ₄			
9.1	Adicionar 5 gotas de Na ₂ CO ₃			
9.2	Adicionar ao ppt do ensaio 9.1 HNO ₃ (1 mol L ⁻¹) ou HAc diluído (10 gotas)			
10.1	5 gotas de Na ₃ HPO ₄			
10.2	Adicionar ao ppt do ensaio 9.1 HNO ₃ (5 mol L ⁻¹) (10 gotas)			

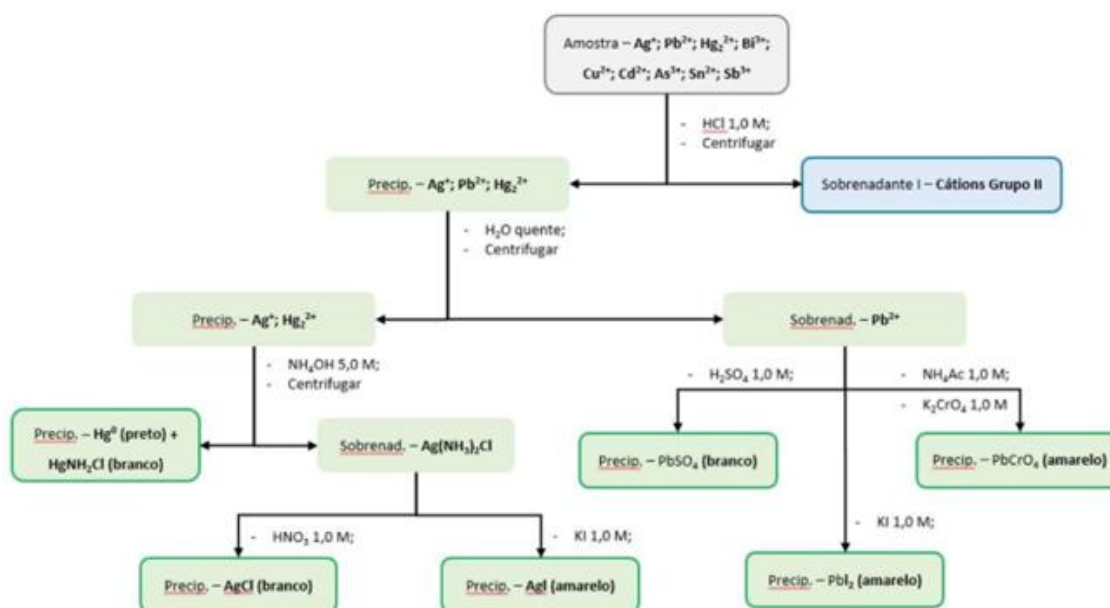
Tabela 2.3. Reações dos cátions do Grupo II

Reação	Reagentes	Cu ²⁺	Hg ²⁺	Sr ²⁺	Bi ³⁺	As ³⁺	Sb ³⁺
1.1	Adicionar H ₂ O até = 2mL; HNO ₃ (5 mol L ⁻¹); + 15 gotas de TAA (1,0 mol L ⁻¹); + Δ BM 90 °C por 15 min.						
1.2	Ao ppt do ensaio 1.1 adicionar KOH diluído.						
1.3	Ao ppt do ensaio 1.1 adicionar HNO ₃ (conc.); + Δ BM 90 °C por 5 min.						
1.4	Ao ppt do ensaio 1.1 adicionar HCl (conc.).	XXXX	XXXX		XXXX		
2.1	Adicionar 5 gotas de NH ₄ OH (1 mol L ⁻¹)					XXXX	
2.2	Ao ppt do ensaio 2.1 adicionar NH ₄ OH em excesso					XXXX	
3.1	Adicionar 5 gotas de NaOH (1 mol L ⁻¹)					XXXX	
3.2	Ao ppt do ensaio 3.1 adicionar NaOH em excesso (10 gotas)					XXXX	
4.1	Adicionar 5 gotas de KI (0,1mol L ⁻¹)			XXXX		XXXX	
4.2	Adicionar ao ppt do ensaio 4.1 KI (0,1mol L ⁻¹) em excesso (10 gotas)			XXXX		XXXX	XXXX
5.0	Adicionar 1 gota de HNO ₃ (1 mol L ⁻¹); + 5 gotas de K ₄ [Fe(CN) ₆]		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
6.1	Adicionar SnCl ₂ + NaOH 5mol L ⁻¹	XXXX		XXXX		XXXX	XXXX
6.2	Adicionar SnCl ₂ + 2,0 mL HCl conc. + Δ BM 90 °C por 5 min.	XXXX		XXXX		XXXX	XXXX
7.1	Adicionar Na ₃ HPO ₄			XXXX		XXXX	XXXX
7.2	Adicionar ao ppt do ensaio 7.1 HNO ₃ (1 mol L ⁻¹) ou HCl (1 mol L ⁻¹)			XXXX		XXXX	XXXX
8.0	Adicionar gotas de NH ₄ SCN		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
9.0	Adicionar 04 gotas de solq. Sn ²⁺ , 07 gotas ácido tartárico 5 %, 05 gotas de cloreto de ferro (III), 03 gotas dimetilglioxima e 7 gotas amônia conc.	XXXX	XXXX		XXXX	XXXX	XXXX
10.0	Mistura Magnésiana	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX		XXXX

PARTE PRÁTICA - SEPARAÇÃO DOS CÁTIONS DO GRUPO I e II:

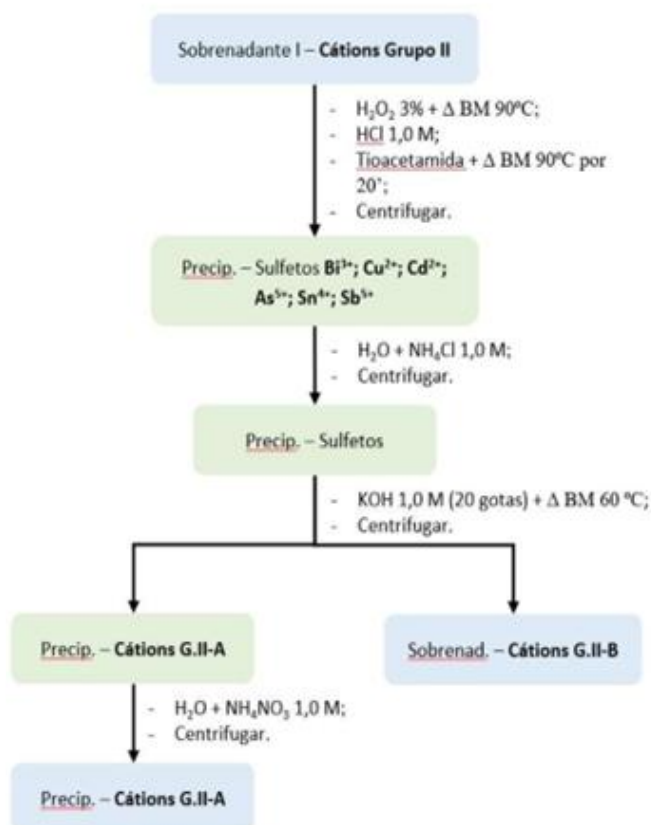
- 1- Antes de dar início à análise, verificar e anotar o aspecto da solução problema, quanto a presença de ppt, cor, turbidez, etc.;
- 2- Não adicionar HCl em excesso, para evitar a formação de clorocomplexos dos cátions do Grupo I;
- 3- As fases ppt e sobrenadante serão obtidas por meio de centrifugação e posterior com auxílio de pipeta Pasteur;
- 4- Todos os resíduos devem ser lavados antes de continuar os testes. Apenas o ppt 1 não deve ser lavado, para evitar a solubilização do mesmo. Lavar o ppt significa adicionar água destilada, agitar, centrifugar e desprezar o sobrenadante;
- 5- O pH das soluções deve ser testado sempre que necessário.

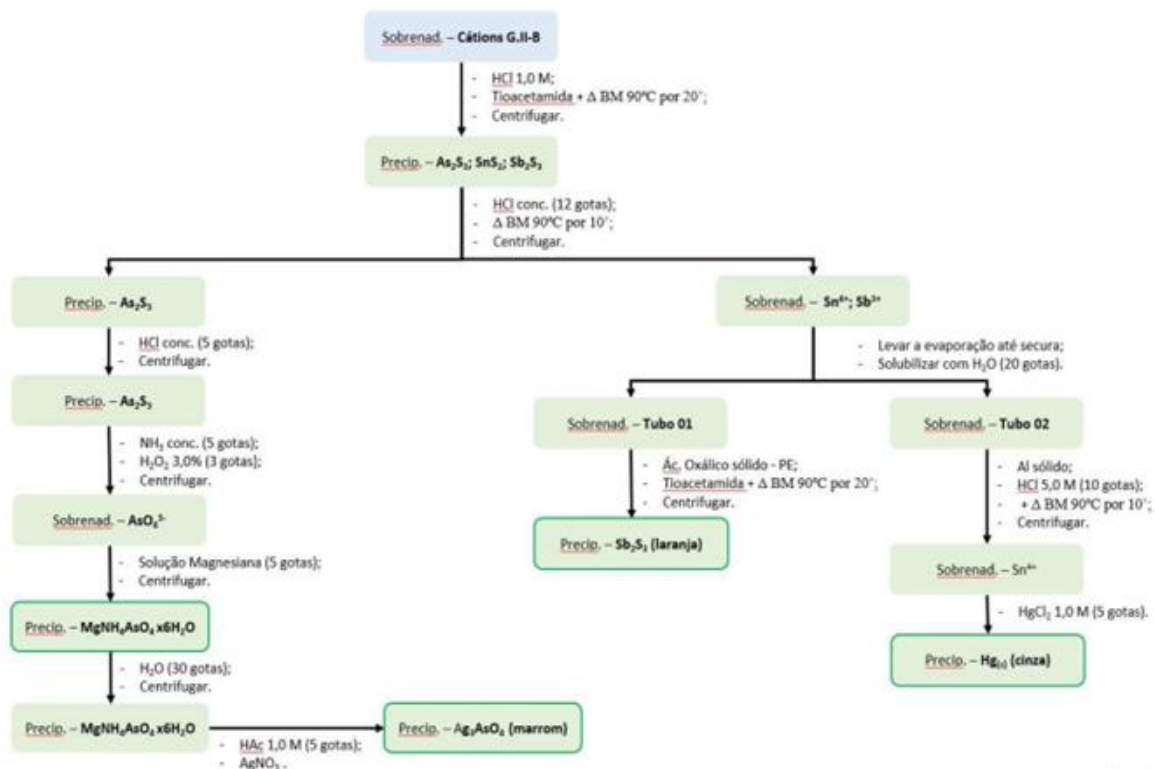
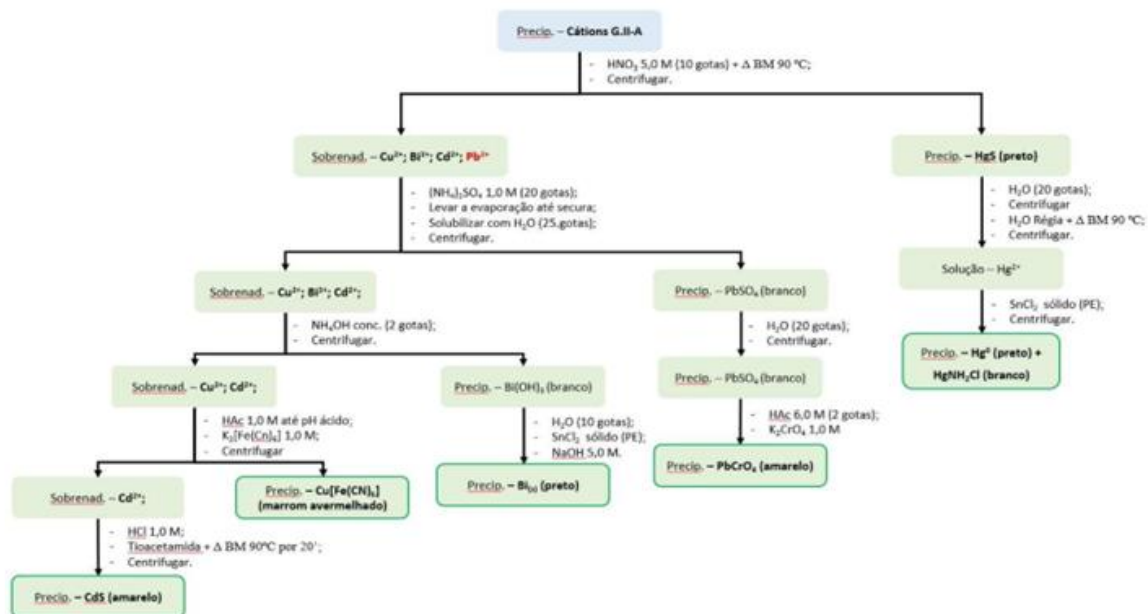
Fluxograma I - Separação e Identificação Cátions Grupo I



29

Fluxograma II - Separação e Identificação Cátions Grupo II



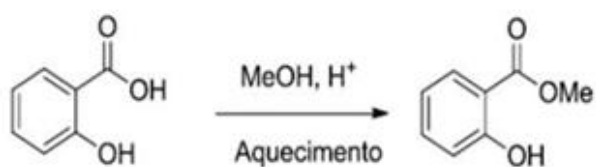


QUESTÕES PÓS-AULA:

1) Uma solução contendo um íon desconhecido origina um precipitado branco ao ser tratado com HCl. Com adição de $\text{NH}_3(\text{aq})$ o precipitado é dissolvido e quando adicionado ao meio, um ácido forte, o precipitado volta a se formar novamente. Qual o íon desconhecido? Explique a sua resposta e mostre todas as reações.

2) Em uma amostra desconhecida foi adicionado HCl 3 mol/L, observando-se a formação de um precipitado. Quais os possíveis cátions presentes nesta amostra? Dentre estes, qual o solúvel em água quente e de que forma essa propriedade é usada na análise do grupo?

3) Como distinguir a seguinte mistura: HgS e CuS.

Anexo E: Prática 6 - Obtenção do Salicilato de metila (Reação de esterificação)**6- Obtenção do Salicilato de metila (Reação de esterificação)**

O salicilato de metila, também conhecido como éster metílico do ácido salicílico, *óleo de Gaultéria*, *óleo de bétula*, *metil-2-hidroxibenzoato*, é um

líquido incolor com elevado ponto de ebulição: 220 °C, ponto de fusão: -9 °C e densidade (d_4^{15}): 1,17. É insolúvel em água, mas solúvel em álcool e ácido acético glacial. Usado em perfumaria, sabor de doces e medicamentos. Em medicamentos é usado por via tópica em casos de dores articulares e musculares.

- Reagentes: Ácido salicílico, ácido sulfúrico concentrado, metanol, solução aquosa de carbonato de sódio 10%, solução aquosa de cloreto de sódio 30%, sulfato de magnésio anidro e água destilada.
- Materiais: Aparelhagem para destilação simples, balão de fundo redondo de 250 mL, condensador de refluxo, banho-maria, cadinho de porcelana, funil de separação de 250 mL e papel de tornassol.
- Procedimento:

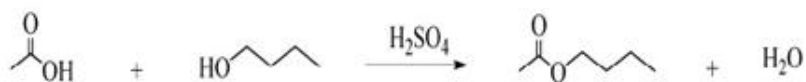
- Primeira etapa;

Em balão de fundo redondo de 250 mL, colocar 6,9 g de ácido salicílico. Levar o balão para uma capela e adicionar 16 g de metanol e 3,7 g de ácido sulfúrico concentrado, com cuidado. Juntar fragmentos de porcelana porosa, montar aparelhagem para aquecimento e aquecer sob refluxo durante 2 horas. Caso não haja tempo suficiente, anotar o tempo de refluxo e na segunda etapa da aula reiniciar o refluxo até completar o tempo de 2 horas.

- Segunda etapa:

Anexo F: Prática 7- Obtenção do Acetato de *n*-butila (Reação de esterificação)

7- Obtenção do Acetato de *n*-butila (Reação de esterificação)



O acetato de *n*-butila é um éster líquido, incolor; solúvel em etanol, acetona e em éter etílico. Possui ponto de ebulição de 126,5 °C e densidade (d₄²⁰): 0,88. É um dos constituintes de algumas fragrâncias de flores e frutos, além de ser utilizado como solvente orgânico.

- Reagentes: Ácido acético glacial, ácido sulfúrico concentrado, álcool *n*-butílico (*n*-butanol), solução aquosa saturada de bicarbonato de sódio e sulfato de sódio anidro.

-
- Materiais: Aparelhagem para destilação fracionada, aparelhagem para refluxo, balão de fundo redondo de 250 mL e funil de separação de 250 mL.

- Procedimento:

Em um balão de fundo redondo de 250 mL, adicionar 9,25 g de álcool *n*-butilico e 15 g de ácido acético glacial. Misturar bem e adicionar cautelosamente 0,45 g de ácido sulfúrico concentrado. Adaptar um condensador de refluxo e aquecer à ebulição em banho de óleo por 2 horas. Terminado o refluxo, derramar a mistura reacional sobre 100 mL de água e transferir toda a mistura para um funil de separação de 250 mL. Desprezar a fase aquosa (camada inferior) e lavar a fase orgânica com 50 mL de solução aquosa saturada de NaHCO_3 , seguido de 25 mL de água. Transferir o éster bruto para um erlenmeyer de 250 mL e adicionar cerca de 3 g de sulfato de magnésio anidro. Após algum tempo, filtrar o éster em papel de filtro, recolhendo o filtrado e descartando o sólido.

- Purificação (destilação):

Purificar o éster obtido por destilação fracionada com coluna de vigreux, recolhendo a fração que destila entre 124-126 °C.

Anexo G: Prática 5 - Destilação Simples

Manual de Química Orgânica Experimental I

5- Destilação simples

Nesta prática, separar dois líquidos com grande diferença de ponto de ebulição utilizando o método mais simples de destilação.

- Reagentes: mistura de acetona e heptano.
- Materiais: balão de fundo redondo; condensador; termômetro; erlenmeyer 125 mL (3); manta de aquecimento.
- Procedimento:

Transferir 100 mL da mistura de solventes (50 mL de cada solvente) para um balão de fundo redondo e adicionar algumas pedras de porcelana. Montar o sistema de destilação e ligar o aquecimento. Observe a temperatura de ebulição do primeiro componente da mistura (vai destilar por algum tempo e a temperatura vai permanecer constante; anote esta temperatura). Quando a temperatura começar a subir rapidamente, troque o erlenmeyer imediatamente; esta fração vai conter uma mistura dos dois líquidos. Quando a temperatura estabilizar de novo, troque novamente o erlenmeyer e recolha o segundo líquido. Anote a temperatura. Não deixe que o balão fique completamente seco. Meça os volumes dos destilados e calcule o rendimento de cada líquido separado.