UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO E ENSINO DE CIÊNCIAS NA AMAZÔNIA

LETÍCIA RAQUEL AMARO DOS SANTOS

ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM E IMPRESSÃO 3D: ANÁLISE DE UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE REAÇÕES DE ADIÇÃO

Belém - PA
2025

LETÍCIA RAQUEL AMARO DOS SANTOS

ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM E IMPRESSÃO 3D: ANÁLISE DE UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE REAÇÕES DE ADIÇÃO

Dissertação de mestrado e Produto Educacional apresentados ao Programa de Pós-Graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia da Universidade do Estado do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Educação e Ensino de Ciências, sob orientação Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza.

Área de concentração: Ensino, Aprendizagem e Formação de Professores de Ciências na Amazônia.

Linha de pesquisa: Estratégias Educativas para o Ensino de Ciências Naturais na Amazônia.

Belém - PA
2025

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Bibliotecas do Centro de Ciências Sociais e Educação da Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará.

S237e Santos, Letícia Raquel Amaro dos

Ensino fundamentado em modelagem e impressão 3D: análise de uma proposta didática para o ensino de reações de adição / Letícia Raquel Amaro dos Santos. — Belém, 2024.

91f.

Orientador: Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia) - Universidade do Estado do Pará, Campus I - Centro de Ciências Sociais e Educação (CCSE), 2024.

1. Modelos. 2. Produto educacional. 3. Química orgânica. 4. Tecnologia 3d. I. Título.

CDD 22.ed. 372.7

Elaborada por Priscila Melo CRB2/1345

LETÍCIA RAQUEL AMARO DOS SANTOS

ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM E IMPRESSÃO 3D: ANÁLISE DE UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE REAÇÕES DE ADIÇÃO

Dissertação de mestrado e Produto Educacional apresentados ao Programa de Pós-Graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia da Universidade do Estado do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Educação e Ensino de Ciências, sob orientação Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza.

Área de concentração: Ensino, Aprendizagem e Formação de Professores de Ciências na Amazônia.

Linha de pesquisa: Estratégias Educativas para o Ensino de Ciências Naturais na Amazônia.

BANCA EXAMINADORA

Data da aprovação: 19/02/2025

_____

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza
Orientador – Universidade do Estado do Pará - UEPA
Programa de Pós-graduação em Educação e Ensino de Ciências – PPGEECA

_____

Profª. Drª Sinaida Maria Vasconcelos
Membro Interno – Universidade do Estado do Pará - UEPA
Programa de Pós-graduação em Educação e Ensino de Ciências – PPGEECA

_____

Profª. Drª Andréia Francisco Afonso
Membro Externo – Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF
Programa de Pós-graduação em Química - PPGQ

Belém - PA
2025

DEDICATÓRIA

A minha avó (In memorian), ***Olivia Amaro****, a qual me marcou de maneira singular pela lição de vida, sendo minha primeira professora e sempre me incentivando a seguir a carreira docente.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por nunca me desamparar, pela minha saúde, felicidades e conquistas;

A minha Avó, Olivia Amaro, que foi meu alicerce e me mostrou ser possível enfrentar as tempestades da vida com leveza e coragem;

A minha mãe, Andréia Amaro, pela companhia, por sempre se fazer presente e me acolher em todos os momentos;

A Universidade do Estado do Pará e o Programa de Pós-graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia, pela parceria e oportunidade do estudo;

Ao meu orientador Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza, pela orientação, dedicação e responsabilidade para com a minha formação e elaboração desta pesquisa;

A Prof. Drª Andréia Francisco Afonso e Prof. Drª Sinaida Maria Vasconcelos pelo aceite em avaliar e contribuir para a melhoria desta pesquisa;

Aos colaboradores e funcionários da unidade de ensino na qual este estudo foi desenvolvido, por me receberam muito bem e me possibilitarem a oportunidade;

Aos amigos, que conquistei durante esta etapa e que compartilharam seus saberes e fizeram o processo ser mais leve;

A FAPESPA, pelo apoio financeiro concedido por meio de uma bolsa de estudo;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolver desta pesquisa.

MEMORIAL DE FORMAÇÃO

Minha história com a licenciatura iniciou ainda no ensino médio, com minha participação como auxiliar de classe no programa Mais Educação, que ocorria no contra turno das minhas aulas. Aliada a essa experiência, ao observar a prática de meus professores que articulavam seus conhecimentos por meio de projetos integradores e faziam o conteúdo ter mais sentido, me senti motivada a me aventurar na docência.

Em 2018, ingressei no curso de Ciências Naturais, onde meus horizontes se expandiram. Desde o primeiro semestre, procurei participar de eventos para entender o universo onde eu estava me inserindo, foi a partir disso que observei e me identifiquei com o desenvolvimento de formas para abordar os conteúdos em sala de aula. Passei a pesquisar e estudar cada vez mais sobre estratégias didáticas e pude colocá-las em prática por meio da minha participação no PIBID, no qual fui aprovada no quinto semestre de curso.

A culminância da minha experiência neste projeto foi meu trabalho de conclusão de curso, sendo uma proposta para abordagem da tabela periódica de uma forma interativa e trabalhos completos publicados em anais de eventos nacionais e regionais, como o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências e Encontro Nacional de Ensino de Química. Afirmo que este foi a chave principal para minha preparação para almejar e ser aprovada no curso de mestrado do PPGEECA.

No curso de mestrado, tive a oportunidade de aperfeiçoar meus conhecimentos sobre as estratégias educativas ao participar do projeto que aborda a tecnologia de impressão 3D no ensino de Química orgânica. Foi desafiador, porém, uma experiência muito rica, na qual tive oportunidade de participar de eventos nacionais e regionais, desenvolver oficinas sobre o tema para professores e alunos, tanto nos eventos científicos quanto em projetos sociais. Além disso, também pude apresentar trabalhos, que foram aplicados já utilizando esta tecnologia em condição real de ensino e publicar com professores e colegas meu primeiro livro, marco de que muito me orgulho.

Ademais, ressalto as oportunidades que tive de estar em diferentes condições reais de ensino, em inúmeras turmas, podendo acompanhar de perto e agora como uma professora, a prática docente. Tive a oportunidade de realizar visitas em escolas situadas na cidade de Juiz de Fora-MG, para aprimorar o estudo desenvolvido e, sobretudo, a minha formação quanto docente. Acredito que essa experiência foi essencial para enriquecer minha formação enquanto profissional e pessoal, ampliando minha compreensão sobre diferentes realidades e me dando base para novas experiências no futuro.

Concluir esta etapa representa mais do que um marco acadêmico e, sim, a concretização de um sonho que começou lá atrás, ainda no ensino médio. Cada experiência vivida, desde a graduação até o mestrado, contribuiu para meu crescimento profissional e pessoal. Hoje, levo comigo não só conhecimentos e práticas, mas também memórias, pessoas e momentos que marcaram minha jornada.

RESUMO

SANTOS, Letícia Raquel Amaro dos Santos. **Ensino Fundamentado em Modelagem e Impressão 3D**: análise de uma proposta didática para o ensino de reações de adição. 2025. 91p. Dissertação (Mestrado em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia), Universidade do Estado do Pará, Belém, 2025.

O ensino e aprendizagem das reações orgânicas enfrentam desafios devido à complexidade dos compostos e mecanismos envolvidos, além da dificuldade de conexão entre os níveis representacionais. Diante da necessidade de desenvolver estratégias educativas que auxiliem a superar esses entraves, se apresenta o ensino fundamentado em modelagem (EFM) aliado à tecnologia de impressão 3D. O EFM se baseia na construção, adaptação e teste de modelos, permitindo que os estudantes transitem entre diferentes níveis de representação e visualizem conceitos abstratos. Para articular os pressupostos do EFM se apresenta viável a tecnologia de impressão 3D, ao possibilitar uma alternativa de representação e validação aos modelos propostos. Nessa perspectiva, a pesquisa teve como objetivo elaborar uma proposta didática baseada no EFM e na impressão 3D para facilitar a aprendizagem das reações orgânicas de adição no ensino médio. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa descritiva, do tipo estudo de caso. A intervenção foi realizada com uma turma de 40 alunos da 3ª série do ensino médio de uma escola pública localizada em Belém-PA. A proposta didática foi desenvolvida em três etapas, tendo como instrumentos de coleta, registros em áudio do desenvolvimento das atividades e respostas dos testes aplicados durante a sequência, sendo analisados e interpretados utilizando a análise de conteúdo de Bardin com suporte do programa IRAMUTEQ. Os resultados demonstram que a proposta colaborou para o avanço gradual da compreensão de conceitos das reações de hidroalogenaçao, hidratação e hidrogenação, por meio da interação entre os pares e das ferramentas utilizadas. Com destaque para as reações de hidroalogenação, na qual os alunos apresentaram uma compreensão mediana dos fundamentos, abrindo contexto para possíveis adaptações à proposta e investigações futuras. A partir dessa pesquisa, foi elaborado um Produto Educacional organizado em dois capítulos, que apresenta os referenciais teóricos e metodológicas da proposta. Enquanto avaliação, o material foi avaliado em primeira instância por meio de estudos pilotos e aplicação em condições reais de ensino e, posteriormente, pela banca avaliadora. Assim, conclui-se, que a proposta contribuiu positivamente para o ensino das reações de adição, por meio da integração entre teoria e prática de maneira interativa. Ressalta-se, também, a necessidade de novas investigações sobre a temática e demais conteúdos relacionados a ela, visando ampliar sua contribuição para o ensino.

Palavras-chave: Modelos. Produto Educacional. Química Orgânica. Tecnologia 3D.

ABSTRACT

SANTOS, Letícia Raquel Amaro dos Santos. **Teaching based on modeling and 3D printing**: analysis of a didactic proposal for teaching addition reactions. 2025. 91 p. Dissertation (Master of Science Education and Teaching in the Amazon), State University of Pará, Belém, 2025.

The teaching and learning of organic reactions faces challenges due to the complexity of the compounds and mechanisms involved, as well as the difficulty of connecting the representational levels. Faced with the need to develop educational strategies to help overcome these obstacles, model-based learning (EFM) combined with 3D printing technology is presented. FSM is based on building, adapting and testing models, allowing students to move between different levels of representation and visualize abstract concepts. In order to articulate the assumptions of the EFM, 3D printing technology is viable, as it provides an alternative way of representing and validating the proposed models. With this in mind, the aim of this research was to develop a didactic proposal based on EFM and 3D printing to facilitate the learning of organic addition reactions in secondary school. The research adopted a qualitative, descriptive, case study approach. The intervention was carried out with a class of 40 students from the 3rd grade of high school at a public school located in Belém-PA. The didactic proposal was developed in three stages, using audio recordings of the development of the activities and answers to the tests applied during the sequence as collection instruments, which were analyzed and interpreted using Bardin's content analysis with the support of the IRAMUTEQ program. The results show that the proposal helped to gradually advance understanding of the concepts of hydrohalogenation, hydration and hydrogenation reactions, through the interaction between the pairs and the tools used. In particular, the hydrohalogenation reactions, in which the students showed an average understanding of the fundamentals, opened up a context for possible adaptations to the proposal and future research. Based on this research, an Educational Product was prepared, organized into two chapters, which presents the theoretical and methodological references of the proposal. As an evaluation, the material was first assessed through pilot studies and application in real teaching conditions, and then by the evaluation board. The conclusion is that the proposal made a positive contribution to the teaching of addition reactions by integrating theory and practice in an interactive way. It also highlights the need for further research into the subject and other related content, with a view to expanding its contribution to teaching.

Keywords: Models. Educational product. Organic Chemistry. 3D technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Níveis de representação referente à reação de hidrogenação	20
Figura 2 -	Diagrama 'modelo de modelagem'	24
Figura 3 -	Percurso metodológico do PE	31
Figura 4 -	Descrição das atividades de acordo com o diagrama de 'modelo por modelagem'	36
Figura 5 -	Fluxograma referente aos processos de modelagens das estruturas em 3D	38
Figura 6 -	Síntese do processo utilizando estruturadores moleculares	39
Figura 7 -	Síntese do processo utilizando programa *CAD*.....	40
Figura 8 -	Parâmetros gerais da impressão 3D	42
Figura 9 -	Parâmetros de confecção	43
Figura 10 -	Noção de corpus, textos e segmentos de textos	44
Figura 11-	Organização para análise dos dados	46
Figura 12 -	Resultado da CHD dos modelos iniciais	47
Figura 13 -	Dendograma das classes referentes aos modelos iniciais	48
Figura 14 -	Esquematização das categorias resultantes da etapa I	49
Figura 15 -	Amostra dos modelos iniciais elaborados	51
Figura 16 -	Representação fatorial dos modelos iniciais	52
Figura 17 -	Dendograma das classes referentes aos primeiros modelos expressos.	56
Figura 18 -	Esquematização das categorias resultantes da etapa II	57
Figura 19 -	Amostra de primeiros modelos para as questões abertas	58
Figura 20 -	Exemplo de modelo reformulado com o uso do software	59
Figura 21 -	Modelos elaborados utilizando as peças modulares	60
Figura 22 -	Representação fatorial da discussão de reformulação e validação dos modelos	61
Gráfico 1 -	Quantitativo do problema 1	64
Gráfico 2 -	Quantitativo do problema 2	65
Figura 23 -	Representação da reação de hidroalogenação do problema 2	66
Figura 24	Capa e organização do Produto Educacional	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PE	Produto Educacional
EFM	Ensino Fundamentado em Modelagem
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CNT	Ciências da Natureza e suas Tecnologias
EM	Ensino Médio
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
DCEPA	Documento curricular do Estado do Pará
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Filament Fused Fabrication
CAD	Computer-Aided Design
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
SAEB	Censo Escolar e Sistema de Avaliação da Educação Básica
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TCUD	Termo Compromisso para Utilização e Manuseio de Dados
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
PLA	Ácido poliláctico
IRAMUTEQ -	Interface de R pour lês Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires
CHD	Classificação Hierárquica Descendente
AFC	Análise Fatorial de Correspondência

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

2 REFERENCIAL TEÓRICO 16

2.1 ENSINO DE QUÍMICA: O QUE NOS APONTA OS DOCUMENTOS NORTEADORES 16

2.2 O ENSINO DA QUÍMICA ORGÂNICA: ABORDAGEM DAS REAÇÕES ORGÂNICAS 19

2.3 PERSPECTIVA DO ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM E SUA APLICAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA 22

2.4 IMPRESSÃO 3D NA EDUCAÇÃO: ABORDAGENS PARA O ENSINO DE QUÍMICA 28

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 31

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA 31

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA 31

3.3 LÓCUS E PARTICIPANTES 32

3.4 PERCURSO METODOLÓGICO 33

3.4.1 Questões éticas e legais da pesquisa 33

3.4.2 Pesquisa exploratória 33

3.4.3 Intervenção pedagógica baseada no Ensino Fundamentado em Modelagem utilizando Impressão 3D 34

3.4.4 Processo de modelagem e impressão das moléculas em 3D 36

3.5 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS 43

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 44

4.1 ETAPA I: MODELOS INICIAIS 47

4.2 ETAPA II: EXPRESSÃO, REFORMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS 54

4.3 ETAPA III: AVALIAÇÃO FINAL 63

5 PRODUTO EDUCACIONAL 67

5.1 PROCESSO AVALIATIVO DO PRODUTO EDUCACIONAL 67

5.2 DETALHAMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL 68

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 71

REFERÊNCIAS 72
ANEXO A - TERMO DE ACEITE DA INSTITUIÇÃO 76
ANEXO B - PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA 77
ANEXO C - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 78
ANEXO D - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 80
ANEXO E - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 82
ANEXO F - TERMO DE COMPROMISSO PARA UTILIZAÇÃO E MANUSEIO DE DADOS 84
ANEXO G – DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DO PESQUISADOR A 85
ANEXO H - DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DO PESQUISADOR B 86
APÊNDICE A - ROTEIRO PARA OBSERVAÇÃO PARTICIPANTE 87
APÊNDICE B - QUESTÃO NORTEADORA PARA ETAPA 1 88
APÊNDICE C - QUESTÕES ABERTAS SOBRE REAÇÃO DE ADIÇÃO..... 89
APÊNDICE D - AVALIAÇÃO FINAL DO CONTEÚDO 90

1 INTRODUÇÃO

As Reações Orgânicas participam de maneira direta na produção de uma vasta gama de produtos presentes no nosso dia a dia, tais como polímeros, borrachas, fertilizantes e fármacos. Dada sua relevância, torna-se essencial estudá-las explorando suas interações e mecanismos, por meio de estratégias didáticas que proporcionem aos estudantes o desenvolvimento de habilidades, como pensamento crítico e resolução de problemas. Contudo, o processo de ensino e aprendizagem desta temática não é simples, apresentando desafios e especificidades.

Por se tratar de um assunto pertencente à Química Orgânica, estudar as reações carece de uma base de conhecimentos que envolve nomenclatura de compostos, estrutura molecular e propriedades Físico-Químicas (Ferreira; Del Pino, 2009). Este entrave colabora para que a compreensão de temática seja mediada por concepções alternativas. De forma geral, os estudantes entendem as reações como ‘desaparecimento’ de determinada substância, ‘deslocamento’ de determinado reagente e ‘modificação’, se referindo a mudanças de estado físico. Ou seja, é um entendimento no prisma de concepções alternativas (Damascena; Carvalho; Silva, 2018).

Dado este contexto, a motivação desta pesquisa se deu por meio de algumas experiências da pesquisadora em contexto real de sala de aula com a temática em questão. Sendo possível, perceber dificuldades envolvendo as várias concepções inadequadas e, também, desafios inerentes à Química, como a abstração, relação entre os níveis de representações e uma linguagem altamente simbólica, própria desta ciência.

Somando-se aos desafios citados, foi possível observar uma carência do entendimento de alguns conteúdos importantes para o estudo da temática. Com isso, visando um ensino que promova gradual sobre as reações, optou-se, nesta pesquisa, a desenvolver a proposta sobre as reações orgânicas de adição. Uma vez que, em comparação com as reações de eliminação e substituição, esse tipo de reação pode envolver menos variáveis e maiores chances dos alunos se familiarizarem e recapitularem conceitos importantes.

Deste modo, na expectativa de desenvolver um contexto de ensino que contribua e atue como alternativa frente aos desafios encontrados, escolhemos como base teórico-metodológica do Produto Educacional (PE) o Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM) aliado à utilização da Impressão 3D. Estas foram definidas por possibilitarem a abordagem de conceitos

abstratos, fazendo valer o fazer científico e explorem modelos mentais e táteis para compreender determinados fenômenos.

Destaca-se, que o EFM consiste no processo de construção, adaptação e testes de modelos explicativos, onde para a conclusão de cada etapa é necessário haver um aumento gradual de raciocínio, que possibilita aos estudantes a compreensão progressiva de conceitos abstratos (Bicalho; Oliveira, Justi, 2022). Dessa forma, a tecnologia de impressão 3D possibilita uma alternativa de representação e validação a esses modelos elaborados, fazendo-se valer do uso de programas computacionais a impressão tridimensional de moléculas e estruturas Químicas que subsidiem aspectos intrínsecos às reações.

Nesse contexto, a pesquisa buscou respostas para o seguinte problema: Qual a contribuição de uma proposta didática embasada no Ensino Fundamentado em Modelagem utilizando a tecnologia de impressão 3D, para favorecer a aprendizagem do conteúdo de reações orgânicas de adição para alunos do ensino médio?

Norteada pela referida questão, a pesquisa teve como objetivo geral elaborar uma proposta didática baseada no Ensino Fundamentado em Modelagem aliado à impressão 3D para favorecer a aprendizagem dos conteúdos de reações orgânicas de adição para alunos do ensino médio. E como objetivos específicos: a) Investigar o panorama do processo de aprendizagem e das dificuldades de alunos acerca de conteúdos introdutório de Química Orgânica; b) desenvolver e aplicar situações de ensino e aprendizagem de reações orgânicas combinando o Ensino fundamentado em modelagem e impressão 3D; c) avaliar a contribuição da proposta didática para a aprendizagem sobre o conteúdo; d) elaborar um produto educacional em formato de guia didático, para auxiliar o processo pedagógico do conteúdo de reações de adição.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENSINO DE QUÍMICA: O QUE NOS APONTA OS DOCUMENTOS NORTEADORES

Para fundamentar a discussão proposta nesta sessão, se articulou informações presentes nas diretrizes propostas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e o Documento Curricular do Estado do Pará, etapa ensino médio (DCEPA - EM). Sendo o primeiro abrangente nacionalmente e o segundo direcionado para o âmbito estadual, onde procurou-se observar nuances e entrelaçamento para o desenvolvimento do ensino de Química no ensino médio (EM)

Por conseguinte, buscando a integração da educação desde as etapas iniciais até o final do ensino médio em todo o país, a BNCC assume uma natureza normativa, estabelecendo o que é considerado fundamental na educação dos alunos. No entanto, destaca-se a autonomia concedida aos entes federativos para desenvolver e promover os currículos. No cerne da Base Curricular (Brasil, 2018), estão estabelecidas dez competências que orientam todo o processo formativo proposto. Essas competências são interpretadas como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores, aplicáveis tanto no dia a dia e no exercício da cidadania.

Nesse contexto, as matérias de Química, Física e Biologia foram agrupadas em um bloco único denominado "Ciências da Natureza e suas tecnologias" (CNT). No domínio das Ciências da Natureza, os conhecimentos conceituais são organizados em leis, teorias e modelos. Dessa forma, a capacidade de identificar regularidades, invariantes e transformações desempenha um papel crucial na formação do educando partindo da perspectiva da BNCC. Assim, no Ensino médio, a promoção do pensamento científico implica a aquisição de aprendizagens específicas voltadas para sua aplicação em diversos contextos (Brasil, 2018).

Na formulação das competências específicas e habilidades da área presentes na BNCC, priorizaram-se os conhecimentos conceituais, considerando a continuidade da proposta para o ensino fundamental, ou seja, a articulação entre os conhecimentos físicos, químicos e biológicos, adequando-se ao Ensino médio. Com isso, se propôs um aprofundamento nos eixos temáticos de **Matéria e Energia**, **Vida e Evolução**, e **Terra e Universo**, onde os dois últimos eixos foram articulados, tornando-se **Vida, Terra e Cosmo**. O estudo destes eixos, associados entre si, deve fornecer uma base para que os estudantes possam investigar, analisar e discutir situações-problema que emerjam de diferentes contextos socioculturais.

A área CNT, onde a Química se ancora, apresenta três competências específicas que norteiam os conhecimentos destinados ao ensino médio. Em linhas gerais, são apresentadas as seguintes competências: **1ª)** Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos para sugerir ações que melhorem as condições de vida; **2ª)** Interpretar dinâmicas da Vida, da Terra e do Cosmos, elaborando argumentos e previsões físicas e biológicas; **3ª)** Investigar situações-problema, avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico, propondo soluções e comunicando descobertas por meio de mídias e tecnologias digitais de informação (Brasil, 2018).

Numa análise de cada uma dessas competências específicas, foram encontradas menções a alguns conteúdos e tópicos relacionados à Química. Na competência 1, são estimulados estudos a transformações Químicas; leis ponderais; cálculo estequiométrico; princípios da conservação da energia, cinética e equilíbrio químicos, processos produtivos como o da obtenção do etanol, da cal virgem, da soda cáustica, do hipoclorito de sódio, do ferro-gusa, do alumínio, do cobre, entre outros.

Para a competência 2, se faz presente a mobilização pelo estudo dos modelos atômicos e subatômicos. Por sua vez, a competência 3 apresenta possibilidade se estudar e explorar estruturas e propriedades de compostos orgânicos. Em ambas as últimas competências, há um forte contexto para se desenvolver outros tópicos da Química associados a temáticas biológicas e físicas. Desse modo, observa-se uma proposta menos conteudista do ensino de forma geral no documento, incluindo a Química.

Dessa forma, o documento preconiza que o ensino de Química deve ser abordado de maneira integrada a outras áreas do conhecimento de forma contextualizada com a realidade do aluno. Dessa forma, devendo apresentar a relevância e aplicabilidade da Química em diferentes contextos, como no meio ambiente, na indústria, na saúde, entre outros. Essa perspectiva, possibilita o desenvolvimento do pensamento crítico, uma vez que ao reduzir a fragmentação dos conteúdos, é possível o desenvolvimento de conhecimentos de maneira articulada.

Assim, a BNCC apresenta um texto menos rígido e uma redução conteudista. Dessa forma, permitindo que as escolas e os professores, dentro de seus planejamentos, direcionem propostas a serem desenvolvidas considerando a especificidade de seu público e utilizem a melhor metodologia para cada momento.

Destacando a autonomia concedida aos entes federativos para elaborar e desenvolver seus currículos, se encontra em vigência o Documento Curricular do Estado do Pará (DCEPA),

onde se tem os princípios que norteiam a educação básica no Pará. Esses princípios buscam promover uma educação abrangente para os alunos, mas também valorizar a vasta diversidade sociocultural do estado do Pará. Esses princípios se entrelaçam com as competências gerais da BNCC, assim, unindo as três etapas da educação básica (educação infantil, ensino fundamental e ensino médio), bem como suas modalidades educacionais (Pará, 2021).

Partindo dessa base, o DCEPA, em 2019, apresentou três princípios curriculares para a educação no estado: 1) Respeito às diversas culturas amazônicas e suas inter-relações no espaço e no tempo; 2) Educação para a sustentabilidade ambiental, social e econômica; e 3) Interdisciplinaridade no processo ensino-aprendizagem, que no ensino médio se articula com o princípio da contextualização. Esses princípios visam subsidiar oportunidades de abordar e debater "aspectos inerentes aos costumes e modos de vida dos povos que vivem na Amazônia Paraense, com suas riquezas cultural e econômica distribuídas nas mais diversas regiões do Estado" (Pará, 2019, p. 17).

Assim como na BNCC, no DCEPA, a Química também se apresenta de maneira integrada à Física e à Biologia, formando a área de CNT. Observa-se que no documento, há priorização para orientações que visem à articulação entre os conhecimentos químicos, físicos e biológicos, considerando o contexto amazônico no qual o aluno se encontra.

Para a abordagem da área das Ciências da Natureza, foram adotados dois eixos, bem como na BNCC, sendo: **1)** Matéria e Energia; **2)** Vida, Terra e Cosmos. Para isso, os educadores que atuam nesta área são chamados a relacionar os objetos de estudo, visando explorar o estudo dos processos biológicos, físicos e químicos que auxiliam os alunos a entenderem uma variedade de fenômenos e o meio no qual estão inseridos.

Analisando estes eixos temáticos, o documento aponta que os conhecimentos sobre matéria e suas transformações devem ser mobilizados no eixo **Matéria e Energia.** De modo que seja abordado a inerência da matéria com os seres vivos e o meio ambiente, dando ênfase para a educação ambiental e práticas sustentáveis. Neste eixo, pode-se dizer que os conteúdos propriedades da matéria, cinética, reações e classificações podem ser abordados pelos professores.

Por sua vez, no eixo **Vida, Terra e Cosmos** é dada ênfase nos conhecimentos da Química Ambiental e Inorgânica associados novamente à preservação ambiental local. Com isso, observa-se pouca mobilização para o estudo da Química Orgânica no documento de maneira direta, reforçando seu desenvolvimento articulado com outras áreas.

Dessa forma, temas relacionados a saúde individual e coletiva, a Química relacionada a produtos naturais e regionais, o desenvolvimento sustentável, os hábitos e tendências culturais, o cultivo de plantas, os impactos socioambientais, as novas alternativas de combustíveis, as mudanças climáticas, entre outros, são temas que ganham notoriedade e espaço no processo de formação discente. Podendo, assim, mobilizar aprendizagens essenciais por meio de atividades articuladas e conjuntas entre a Química, a Biologia, a Física e outros campos de saberes (Pará, 2021).

O documento destaca, também, como forma de se alcançar um ensino contextualizado e com significado, além de articular conhecimentos das CNT, uma abordagem de metodologias ativas de ensino, como Aprendizagem por Projetos, ensino por investigação e o ensino pela perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. No entanto, as orientações se apresentam de maneira flexível, onde o docente tem liberdade de planejar e executar a abordagem pedagógica necessária.

Infere-se, portanto, que a BNCC e o DCEPA compartilham semelhanças significativas em suas abordagens educacionais. Visto que ambos os documentos reconhecem a importância da integração dos conhecimentos químicos, físicos e biológicos, integrando-os sob a área CNT. Além da própria organização dos documentos, sendo disposta por eixos temáticos e habilidades que devem ser mobilizadas pelos docentes e discentes. Se destacam, também, o estímulo a adoção de metodologias que auxiliem o aluno a desenvolver o senso crítico e a desmitificação do método científico.

No que tange a Química Orgânica nestes documentos, observa-se que ambos indicam de maneira indireta que ela deve ser abordada de forma entrelaçada com conhecimentos de outras áreas, em especial, conhecimentos biológicos. Enquanto na BNCC ela aparece voltada a conhecimentos gerais e diversos, no DCEPA ela se mostra intrinsecamente ligada a aspectos ambientais, ressaltando os objetivos gerais de cada diretriz.

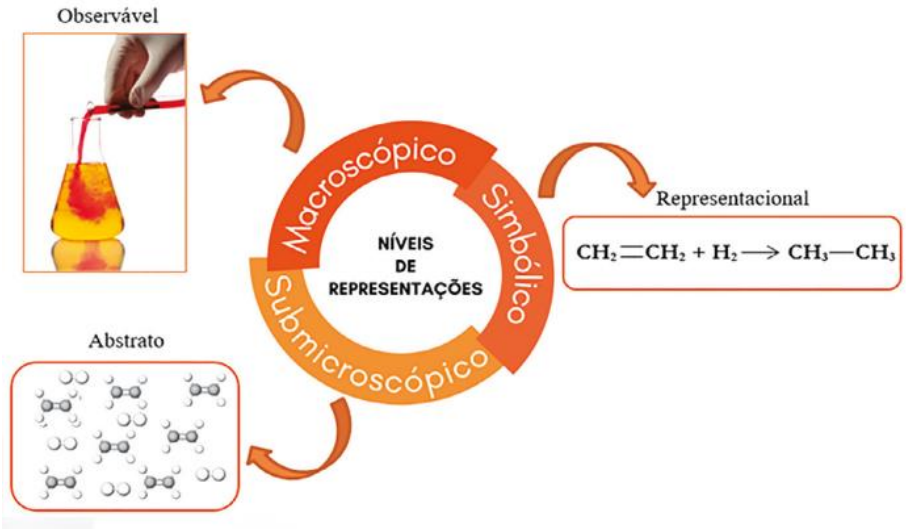
2.2 O ENSINO DA QUÍMICA ORGÂNICA: ABORDAGEM PARA AS REAÇÕES ORGÂNICAS

Sabe-se da importância de se estudar e compreender conceitos químicos para aplicá-los no dia a dia. Em especial, os conhecimentos relacionados à Química Orgânica são relevantes desde a compreensão da matéria viva a utilizações em indústrias e avanços científicos. No entanto, o processo de ensino e de aprendizagem referente à área apresenta dificuldades, onde os alunos apresentam lacunas formativas (Albano; Delou, 2023). A causa para esse fato se

encontra apoiada na forma como o ensino vem sendo desenvolvido e a presença de peculiaridades da própria ciência Química.

De acordo com Roque e Silva (2008), um dos principais entraves para o ensino de Química Orgânica é a complexidade das representações das estruturas Químicas. Nas quais, normalmente, as fórmulas estruturais podem ser ambíguas, complexas ou apresentadas sem uma explicação adequada, dificultando a compreensão dos alunos. Além disso, há falta de conexão entre os três níveis de representações propostas por Johnstone (1982), sendo eles os níveis: macroscópico (observável), submicroscópico (não observável) e simbólico (representacional). A Figura 1 apresenta a ideia dos 3 níveis de representação utilizando como exemplo um tipo de reação de adição.

Figura 1- Níveis de representação referente à reação de hidrogenação



Fonte: adaptado de Johnstone (1982)

Dentre os conteúdos da Química Orgânica, têm-se as reações orgânicas. Este conteúdo apresenta suas peculiaridades além das já mencionadas e se torna desafiador para os estudantes à medida que envolve uma ampla variedade de compostos e mecanismos, tornando o estudo detalhado. Além, alguns estudantes tendem a depender da memorização dos mecanismos de reação em vez de compreender seus princípios. Dessa forma, observa-se a necessidade de integração de diversos conceitos, como estrutura molecular, propriedades Químicas, ligações e acidez e basicidade de compostos (Dood; Watts, 2022).

Para minimizar esses entraves, é fundamental desenvolver estratégias de ensino que auxiliem os alunos a relacionarem os níveis de representação, discutir os modelos químicos e facilitar a apropriação da linguagem própria dessa ciência (Roque; Silva, 2008). Nessa

perspectiva, a fim de compreender quais estratégias de ensino estão sendo utilizadas para a temática de reações orgânicas, foi feito um levantamento bibliográfico.

A pesquisa bibliográfica foi realizada nos bancos de dados das bases *Scielo*, Google acadêmico e Periódicos da Capes com os seguintes descritores: "Ensino" "Química Orgânica" "Reações orgânicas" "estratégias didáticas". Com o recorte temporal de 2013 a 2025, foram encontrados 82 documentos que variavam entre artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e trabalhos publicados em anais de evento.

Deste grupo, para delimitação dos trabalhos, foram considerados os seguintes parâmetros: 1- – propostas aplicadas em condições reais de ensino na educação básica; 2 – propostas direcionadas para o ensino de reações orgânicas. Com base nesse procedimento metodológico, obtiveram-se 5 estudos que contemplaram os critérios estabelecidos. Destaca-se que todas as propostas encontradas se apoiaram em temas geradores e/ou experimentos demonstrativos-investigativos para serem desenvolvidas.

O estudo de Souza et al. (2025) apresenta uma proposta embasada na aprendizagem baseada em problemas, desenvolvida com alunos da 3ª série do ensino médio para abordar o tema “célula curricular” e “biodiesel”, para desenvolver reações de sulfonação em compostos aromáticos. Os resultados foram positivos à medida que assuntos químicos e ambientais foram associados ao longo da proposta. Também trabalhando com a temática de biodiesel e obtendo resultados satisfatórios, tem-se a intervenção aplicada por Friedrich (2019), que desenvolveu os conteúdos de Química Orgânica, desde nomenclatura até reações de esterificação.

Por sua vez, Torres (2021) apresenta o tema gerador “descarte consciente de óleo vegetal” com enfoque em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente dando ênfase para a reação de saponificação. A proposta foi desenvolvida com alunos da educação de jovens e adultos utilizando aulas dialogadas e experimentais, que culminou em uma oficina para produção de sabão com resultados satisfatórios, salientando uma postura ativa e dinâmica dos estudantes.

Na pesquisa de Klein, Braibante e Braibante (2020), é abordada a temática “poluição” por meio de uma sequência didática com alunos do ensino médio. Foram apresentadas propostas para reações redox inorgânicas com o enfoque na poluição do solo e reações redox orgânicas com enfoque na poluição de afluentes. Os resultados obtidos foram positivos para as reações inorgânicas e parciais para as reações orgânicas, o último devendo ter ocorrido por limitação quanto ao tempo de aula e lacunas de assuntos-base da orgânica.

Por fim, tem-se a intervenção desenvolvida por Esswein (2016), cujo objetivo foi trabalhar por meio de edublogs conteúdos de Química orgânica, desde classificação de cadeias a reações orgânicas, desenvolvida com alunos da 2ª série do ensino médio de uma instituição privada. Tendo resultados satisfatórios, a pesquisadora atenta para o aprimoramento na associação dos conteúdos químicos com assuntos do cotidiano por meio de mais ferramentas aliadas aos blogs, visto que foi a dificuldade de alguns alunos.

É possível observar que todos os trabalhos trazem temas geradores para abordar os conteúdos selecionados. Observa-se a abordagem de temas que permeiam a realidade dos estudantes, os quais estes participam ativamente das atividades e da construção de seus conhecimentos. Essa perspectiva de contribuição é reforçada por Pinheiro (2013) ao afirmarem que o uso de temas geradores e atividades dinâmicas proporciona estímulos a reflexão crítica, além de ser direcionar para a utilização de estratégias de ensino que sejam próximas da interdisciplinaridade.

Fez-se, também, uma busca no repositório educacional digital "EduCapes", com objetivo de obter conhecimento acerca de desenvolvimentos de Produtos educacionais (PE) que vêm sendo elaborados abordando a temática de reações orgânicas. Até o fechamento da etapa de consulta, não se encontrou PE direcionado para os conteúdos de reações orgânicas. No entanto, o trabalho desenvolvido por Melo (2022) apresenta o desenvolvimento de uma iniciativa para colaborar com o ensino de estruturas de compostos orgânicos e classificação de cadeias carbônicas por meio de oficinas, fazendo valer o movimento *Maker*. O objetivo principal do produto é elaborar representações modulares de estruturas orgânicas a partir de material de baixo custo, abrindo possibilidade para uma aprendizagem ativa e colaborativa.

2.3 A PERSPECTIVA DO ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM E SUA APLICAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA

A elaboração de modelos é inerente ao sistema cognitivo humano, visando compreender o entorno. Dessa forma, indivíduos desenvolvem representações mentais abrangendo o físico e o social, para pensar e explicar fenômenos. Esses modelos, chamados modelos mentais, auxiliam na formulação de conhecimentos implícitos para resolver problemas, servindo como meio de interação entre conhecimentos e ideias do indivíduo, integrando-se ao seu sistema conceitual. Modelos mentais têm um papel essencial no processo de modelagem, tanto na ciência quanto no ensino (Moreira, 2014).

A importância dos modelos nas ciências é amplamente reconhecida por cientistas e filósofos, já que o conceito de modelos é essencialmente uma teoria científica, desempenhando papel central em qualquer teoria. Em Ciências, um modelo pode ser definido como uma representação parcial de um objeto, fenômeno ou ideia, criada com propósitos específicos, como facilitar a visualização, validar novas ideias e possibilitar a formulação de explicações e previsões sobre o comportamento do sistema modelado (Aragon *et al*, 2018).

O processo de 'construção, adaptação e testes de modelos' é designado de modelagem, e para a conclusão de cada etapa é necessário haver um aumento gradual de raciocínio. Contexto que possibilita ao estudante a possibilidade de transição entre os três níveis de representação e visualização de conceitos abstratos. Esse aumento gradual de compreensão implica na noção de separação entre variáveis, e entendimento de que os fenômenos em questão não são idênticos ao que está sendo representado, dando oportunidade para considerar suas abrangências e limitações (Bicalho; Oliveira; Justi, 2022).

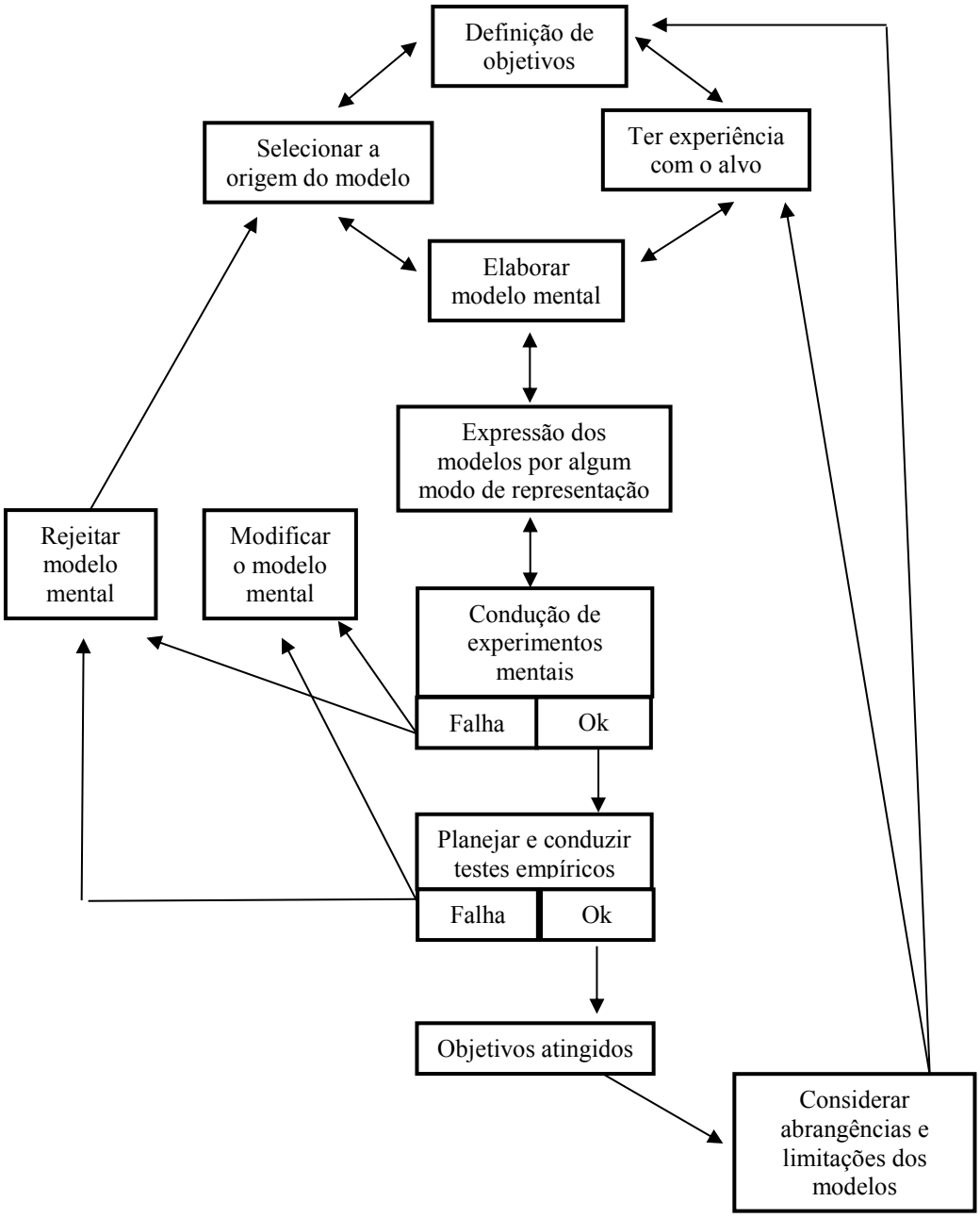
A utilização da modelagem para a construção de conhecimento foi inicialmente empregada na educação científica por John Clement. Uma vez que assumia a aprendizagem por meio da elaboração de modelos, essencial para a construção do saber científico, porém, o pesquisador não compreendia como se dava tal processo. Dessa forma, buscou analisar alguns estudos de casos e como os filósofos constituíam suas hipóteses. Dado os resultados da análise, Clement propôs um diagrama que representa um processo cíclico constituído pela geração de hipóteses, testes racionais e empíricos e modificação ou rejeição de um modelo. O pesquisador destacou, também, a presença de um componente ausente: a influência do arcabouço teórico prévio da disciplina, argumentando que isso poderia impactar no processo, tornando desafiadora as representações em formato bidimensional (Gilbert, Justi, 2016).

Dado o processo apresentado por John Clement, foi elaborado o 'Diagrama Modelo de Modelagem' (Gilbert; Justi, 2016), apresentado na Figura 2, na perspectiva dos pesquisadores John Gilbert e Rosária Justi. Este trata de uma representação diagramática sobre a modelagem como um processo no qual um modelo mental é produzido e expresso em qualquer modo de representação. O modelo expresso deve ser testado (sendo modificado ou rejeitado), e o modelo resultante tem seu escopo e limitações considerados.

Esse esquema não constitui uma prescrição obrigatória para a elaboração de um modelo, sendo formulado como reflexo da análise sobre como estes são desenvolvidos tanto na ciência quanto em outros contextos. Todos os procedimentos delineados no esquema são intrínsecos ao

processo de construção de modelos, sendo geralmente realizados de forma consciente ou inconsciente (Gilbert; Justi, 2016).

Figura 2 – Diagrama 'Modelo de Modelagem'



Fonte: Gilbert; Justi (2016)

Na perspectiva de Gilbert e Justi (2016), os modelos são entendidos como artefatos epistêmicos, ou seja, desempenham um papel significativo na construção e comunicação do conhecimento. Seus objetivos estão direcionados à atividade de explicar, abstrair, argumentar, prever, representar, tais práticas ratificam sua relevância no desenvolvimento do conhecimento científico. Observa-se no esquema, a modelagem como um processo complexo, cíclico e não

linear de construção de conhecimento. Desse modo, não existe uma ordem específica de ocorrência das etapas ou dos subprocessos em cada etapa.

Observa-se, no diagrama, a presença de quatro estágios principais que fundamentam seu desenvolver, sendo: **1º)** o conhecimento do objeto ou sistema a ser estudado, da qual se deriva os modelos mentais; **2º)** a expressão deste modelo mental; **3º)** após a expressão, o modelo deverá ser exposto à condução de experimentos de ordens mentais e/ou empíricos; e **4º)** deverá ocorrer à avaliação/validação do modelo.

Conforme os autores, o processo se inicia pela elaboração de um protomodelo. Este se dá por meio da integração de três elementos-chave: objetivo, experiência e fonte. Deverá ser definido o objetivo inicial para a modelagem que deverá ser elaborada, em seguida, o educando deverá ter acesso a alguma experiência com o alvo estudado, que podem ser adquiridas a partir do conhecimento pessoal prévio, estudo da literatura relacionada e/ou análise de dados empíricos. É válido ressaltar que, devido às experiências poderem ser associadas, não há uma ordem específica de ocorrências dos elementos deste estágio. Por conseguinte, tem-se a fonte como a relação entre a experiência e o protomodelo elaborado.

Dada à elaboração do protomodelo, este deve ser expresso por algum modo, tais como, meios bidimensionais, tridimensionais, virtuais, verbais, entre outros. A natureza da representação deve ser selecionada considerando os objetivos propostos, sistema a ser modelado e seu público-alvo. Para além da representação, seus códigos expressos deverão ser claros e coesos pelo educando. Os autores ressaltam que nem todo modelo expresso é integralmente o protomodelo, isso é justificado devido às limitações nos modos de representação, esse fato ressalta a importância de os códigos serem bem estabelecidos.

A avaliação do modelo pode adotar uma abordagem empírica e/ou mental, dependendo do objeto em estudo e dos recursos disponíveis para conduzir o teste. Esta fase não se limita a um único teste, pois a realização de experimentos mentais envolve processos de raciocínio que se baseiam nos 'resultados' de experimentos conduzidos mentalmente. Durante essa etapa, o modelo é aplicado em várias situações imaginárias, permitindo a avaliação de sua aplicabilidade, capacidade de explicação e/ou previsão, além de verificar sua consistência com os resultados esperados para os testes mentais.

A situação fictícia pode ser categorizada em dois cenários: um experimento que teria sido possível realizar em um laboratório, mas, por diversas razões, é realizado apenas mentalmente, e uma situação completamente imaginária que não poderia, sob nenhuma

circunstância, ser conduzida em um ambiente de laboratório. Os testes empíricos compreendem atividades práticas que incluem a coleta e análise de dados, bem como a avaliação dos resultados em relação às previsões originadas do modelo.

Caso o modelo falhe na etapa dos testes, é possível voltar no ciclo e propor modificações no modelo ou, ainda, dependendo dos resultados, o modelo pode ser rejeitado. Isto irá levar a uma reconsideração dos elementos que foram usados para a sua elaboração. O êxito do modelo nos testes indica que atingiu os objetivos propostos e está pronto para ser compartilhado. Após o sucesso do modelo, é crucial apresentá-lo a outras pessoas, as quais irão avaliar sua validade. Essa fase desempenha um papel significativo na identificação das limitações do modelo e na determinação da extensão de sua aplicabilidade.

Algumas aplicações de propostas didáticas se apropriando do EFM na perspectiva Gilbert e Justi (2016) foram desenvolvidas em situações regulares de ensino. Em seguida, serão mencionados alguns trabalhos e suas nuances, que abordaram unidades temáticas de Química desenvolvidas na educação básica.

Os autores Bicalho, Oliveira e Justi (2022), utilizaram o EFM para desenvolver um curso extraclasse para estudantes da 3ª série do ensino médio, objetivando favorecer a aprendizagem do tema científico “plásticos”, analisando os modos de representação usados por eles e aspectos vivenciados em diversas etapas do processo de modelagem. Neste estudo, observou-se que modos gestuais, verbais e simbólicos se complementaram para a execução das atividades, porém, apenas roteiros de atividades não foram suficientes para que o processo se desenvolvesse de maneira adequada.

Os autores salientam a importância do estímulo, contextos e materiais favoráveis para a realização das tarefas. Dessa forma, constatou-se que a natureza e os contextos de modelagem, a natureza dos sistemas a serem modelados e os modos de se promover uma instrução coerente adotada por quem conduz o EFM, são elementos essenciais para que eles possam comunicar suas ideias adotando-se representações.

Por sua vez, Silva e Maia (2020), aplicaram o EFM para o tema “soluções”, também com alunos da última série do EM. O objetivo da proposta foi verificar como os estudantes constroem significados para as relações conceituais que constituem o fenômeno da dissolução, a partir de atividades fundamentadas em modelagem. Com o desenvolvimento da proposta, foi notória a dificuldade apresentada pelos estudantes frente à elaboração e expressão do

protomodelo, estes sendo embasados por generalizações. Infere-se que, este desafio se deu devido à falta de familiaridade com as atividades que exigem maior autonomia dos estudantes.

Apesar de alguns entraves encontrados no desenvolvimento das atividades, a modelagem proporcionou uma melhor viabilidade na construção conjunta de aspectos do fenômeno da dissolução, possibilitando com que os estudantes articulassem e transitassem entre os níveis macroscópicos, submicroscópico e representacional. Como implicações, os autores concluíram sobre a necessidade de contextos sociocientíficos para um bom desenvolvimento do EFM.

Em uma perspectiva argumentativa, os pesquisadores Ibraim, Mendonça e Justi (2013) procuraram compreender a relação entre atividades de modelagem utilizadas no ensino de Química e a argumentação de estudantes de ensino médio. Para isso, foram aplicadas duas sequências didáticas apoiadas no EFM, para o ensino dos temas, ligações Químicas e interações intermoleculares. Observou-se que a natureza dos argumentos apresentados pelos estudantes no processo de modelagem pode estar vinculada ao contexto e ao conhecimento pessoal no cotidiano.

A análise pré e pós-instrução indicou mudanças na argumentação científica após atividades de modelagem, evidenciando a influência positiva dessa prática, uma vez que após a prática os argumentos se tornaram mais consolidados. Dessa forma, o estudo destaca a relação entre aprender a argumentar e argumentar para aprender, enfatizando a importância de estratégias de ensino que promovam o desenvolvimento conceitual. Além disso, a modelagem é apresentada como uma estratégia eficaz para o desenvolvimento do raciocínio presuntivo e compreensão de conceitos. Como implicação, os autores ressaltam que o uso de esquemas argumentativos e questões críticas é relevante para favorecer situações argumentativas em sala de aula e consolidar os modelos validados.

Observa-se que o EFM pode ter diferentes abordagens associadas à ideia principal de elabora, testes e validação dos modelos. Partindo desse princípio, a impressão 3D se mostra uma alternativa para agregar ao bojo da estratégia de ensino, uma vez que essa tecnologia apresenta um arcabouço vasto que abrange as peças impressas tridimensionalmente, mas também, a programas de modelagens e editores de projetos que subsidiam a impressão. Com isso, a impressão 3D se apresenta como ferramenta para representação e validação dos modelos elaborados.

2.4 IMPRESSÃO 3D NA EDUCAÇÃO: ABORDAGENS PARA O ENSINO DE QUÍMICA

A impressão 3D teve suas origens com os trabalhos de Kodama (1981) e Hull (1984), que desenvolveram métodos para criar modelos plásticos através da solidificação de fotopolímeros utilizando raios ultravioleta. Hull, em particular, patenteou o método conhecido como estereolitografia, inspirado pelo seu trabalho em uma empresa que produzia revestimentos para mesas (Aguiar, 2016). Este método se tornou uma das formas de manufatura aditiva mais utilizadas, no qual por meio de uma reação de cura, a resina líquida fotopolimerizável é depositada camada por camada e, posteriormente, transformada para o estado sólido.

Por sua vez, conhecida também como "fabricação aditiva", a impressão 3D cria objetos aquecendo materiais maleáveis (comumente plástico), os quais são colocados camada por camada para formar um objeto 3D tangível (Prince, 2014). Esse método é conhecido como *Fused Deposition Modeling* (FDM) – modelagem por deposição de material fundido. Porém, devido a restrições de uso relacionadas a marcas registradas, é também denominado de *Filament Fused Fabrication* (FFF) – fabricação por filamento fundido – termo de uso livre (Aguiar, 2016).

O processo de modelagem para impressão, em geral, se inicia com um projeto assistido por programas CAD (*Computer-aided design*), ou seja, um projeto criado com o uso de um programa de modelagem 3D. Em seguida, o projeto já modelado é transferido para um programa de fatiamento, onde será transformado em um arquivo imprimível e realizada as configurações padrões de qualidade da peça. Dada esta etapa, o arquivo é enviado para a impressora, que materializará o projeto (Prince, 2014).

Dada à curva de aprendizagem ser acentuada no processo de modelagem, foram criadas algumas comunidades e plataformas online de acesso livre, que oferecem acesso gratuito a uma variedade de designs prontos para impressão. Dessa forma, permitindo que os usuários encontrem e adaptem facilmente projetos para suas necessidades específicas (Stone *et al.*, 2020). Essa prática de compartilhamento e a necessidade que a sociedade apresenta frente aos avanços tecnológicos são considerados alguns dos fatores responsáveis pela difusão da impressão 3D tanto entre o público quanto no contexto educacional.

A educação, de forma geral, vem cada vez mais recebendo inserções da tecnologia e isso tem suscitado mudanças nas metodologias de ensino em prol de beneficiar o processo

formativo. De acordo com Aguiar (2016) as teorias científicas requerem visualização, pedindo capacidade dos alunos de abstrair conceitos. Com isso, a falta de compreensão teórica combinada com representações gráficas simplificadas e, muitas vezes, inadequadas, contribuem para interpretações equivocadas do objeto em estudo. A partir desse contexto, se apresenta importante a articulação entre conteúdo e tecnologias.

A utilização de tecnologia de fabricação aditiva para apoiar a educação não é recente, sendo observadas em especial no ensino superior. As áreas de arquitetura e engenharia foram as primeiras a adotar o recurso, bem como há relatos de cursos da área das ciências biológicas e da saúde que recorrem a modelos anatômicos impressos em 3D. O uso dessa tecnologia no ensino abre possibilidade para desenvolver competências, aumentar o envolvimento dos alunos e melhorar as atitudes em relação às disciplinas e carreiras de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (Ford; Minshall, 2019).

Ao observar a utilização de recursos que contribuem para a visualização de fenômenos abstratos no ensino de Química, os modelos tridimensionais se apresentam como uma ferramenta pedagógica interessante. Dessa forma, o desenvolvimento de kits moleculares comerciais, como o *Molymod*, recebeu considerável atenção nos últimos anos. O sucesso comercial desses kits, particularmente com estudantes de Química Orgânica, deve-se à sua natureza modular, os quais podem ser montados, modificados e desmontados (Penny *et al*, 2017).

Os kits convencionais de modelagem Química apresentam, no entanto, limitações nos tipos e na precisão das moléculas, ligações e estruturas a serem montadas. Neste contexto, a tecnologia de impressão 3D se apresenta como alternativa frente a essas limitações, permitindo a personalização de uma variedade de moléculas para o ensino (Jones; Spencer, 2018). Além deste ponto, as impressoras 3D viabilizam uma rápida produção de cópias do projeto desejado, auxiliando os educadores a elaborarem recursos educacionais específicos para atender com precisão às demandas identificadas em sua prática.

Sobre os custos com o uso dessa tecnologia, afirma-se ser variado. No mercado, os valores das máquinas de impressão variam conforme modelo e fornecedor, bem como se fazem presentes estudos que trazem projetos de construção de impressoras 3D de baixo custo (Aguiar, 2016). Em referência aos filamentos utilizados, estes podem ser encontrados por um preço acessível, podendo serem utilizáveis inúmeras vezes a depender do tamanho da peça a ser impressa.

Contudo, o uso de impressão 3D na educação básica ainda é recente e se fazem pouco relatos quando comparado à aplicação no ensino superior. Quando observado especificamente no ensino de Química, encontram-se relatos de uso para explicar conceitos de atomística Chery *et al* (2015), ligações e hibridizações (Penny *et al*, 2017) e, ainda, como facilitador para a introdução de conteúdos de Química Orgânica para alunos com deficiência visual, entre outros relatos (Ford; Minshall, 2019).

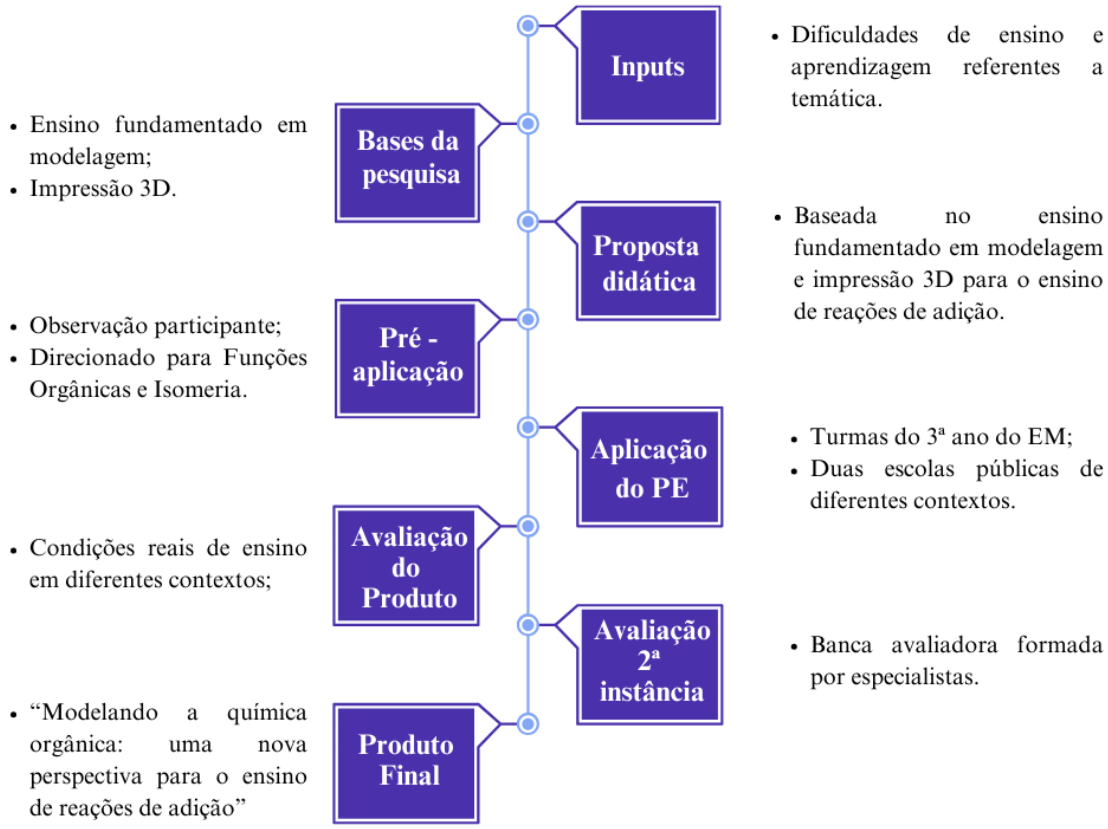
Os benefícios citados em relação da tecnologia na abordagem de conteúdos da educação básica são variados e, embora, muito citado para o ensino de alunos com necessidades especiais, a impressão 3D apresenta contribuições para todos os públicos, além de auxiliar na transição entre os níveis representacionais. Destaca-se a capacidade de replicação de cópias do modelo desejado, facilitar a compreensão espacial e tátil na educação, pois os alunos podem manipular o modelo em todas as suas dimensões. Além disso, isso promoverá abordagens ativas de ensino, o trabalho em equipe e a troca de ideias (Ford; Minshall, 2019).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O esquema a seguir (Figura 3), apresenta o delineamento da presente pesquisa, objetivando proporcionar uma visão abrangente do processo metodológico adotado na elaboração do Produto Educacional.

Figura 3 – Percurso metodológico do PE



Fonte: Autores (2025)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa está apoiada na abordagem qualitativa, apresentando objetivo exploratório, dessa forma não se considera listar ou medir os dados. De acordo com Creswell (2014), a pesquisa qualitativa é uma forma de analisar as informações coletadas em uma perspectiva social e humana, considerando o significado que os agentes envolvidos no processo apresentam para tais fatos. Dessa forma, essa abordagem apresenta relevância ao proporcionar compreensão mais profunda de variáveis antes pouco exploradas.

Quanto ao procedimento, será utilizado o Estudo de Caso. Para Yin (2015, p. 4) “Seja qual for o campo de interesse, a necessidade diferenciada da pesquisa de estudo de caso surge do desejo de entender fenômenos sociais complexos”, ou seja, essa abordagem se dispõe a analisar determinado fenômeno profundamente em uma perspectiva do todo fornecendo subsídios para uma melhor compreensão e estudo.

Yin (2015) ressalta, ainda, que o uso deste procedimento deve ser profundo e exaustivo no estudo de um ou poucos objetos em questão, de maneira que se permita seu amplo detalhamento. Recomenda-se, também, utilizar o estudo de caso em pesquisas de caráter exploratório, visando analisar dados que não podem ser esgotados por meio de avaliações quantificadas.

3.3 LÓCUS E PARTICIPANTES

A pesquisa ocorreu em uma escola pública estadual, situada na periferia do município de Belém – PA, com alunos da 3ª série do ensino médio do turno matutino (Turma A – 36 alunos para os estudos pilotos; Turma B – 40 alunos para aplicação do PE). A escolha do ambiente de pesquisa se deu pelo conhecimento dos autores em relação à coordenação pedagógica da instituição, além da escola apresentar seu Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) de 3,1 para o ensino médio.

O IDEB é um indicador nacional que visa monitorar a qualidade da educação ofertada por meio de dados detalhados e concretos. Os dados são coletados a partir da taxa de rendimento escolar (aprovação) e das médias do desempenho discente nos exames nacionais, como o Censo Escolar e Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb). No que tange o índice, este varia de 0 a 10.

No que se refere à escolha das turmas, procurou-se observar a frequência dos discentes durante as aulas e o engajamento dos mesmos em atividades extras, como projetos e eventos no âmbito da escola. Dessa forma, ambas as turmas, foram selecionadas devido à assiduidade de seus alunos, bem como, participações em atividades extraclasses vinculadas a instituição de ensino, como os projetos mais educação e preparação para o Saeb.

Quanto a escola, ela atende alunos do 6º ao 9º ano do ensino fundamental e 1ª à 3ª série do ensino médio, além de atendimento educacional especializado (AEE) no período diurno. No turno da noite, dispõem de turmas de 1ª a 4ª etapas direcionadas para a Educação de Jovens e Adultos (EJA). Além das salas de aulas regulares, o espaço escolar conta com biblioteca, sala

de recursos multifuncionais — utilizada para o AEE, quadra poliesportiva, sala de leitura e refeitório.

3.4 PERCURSO METODOLÓGICO

3.4.1 Questões éticas e legais da pesquisa

No que tange os aspectos éticos e legais da pesquisa, este projeto possui aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa em seres Humanos da Universidade do Estado do Pará, Campus VIII-Marabá, com parecer consubstanciado número 6.216.987 (Anexo A) e pela instituição de ensino, lócus da pesquisa (Anexo B).

Visando a seguridade dos envolvidos na pesquisa, os estudantes da escola pública estadual na qual a pesquisa será aplicada, assinaram o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) (Anexo C), por serem menores de 18 anos, e o professor regente da turma juntamente com os responsáveis pelos estudantes assinaram, respectivamente, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Anexo D e E).

Para garantir a transparência da pesquisa, os participantes e seus responsáveis legais, foram apresentados às atividades a serem desenvolvidas e seus objetivos. Neste sentido, receberam uma cópia assinada do Termo Compromisso para Utilização e Manuseio de Dados (TCUD) (Anexo F) e pelas Declarações de Compromisso dos Pesquisadores (Anexos G e H).

3.4.2 Pesquisa exploratória

De acordo com Creswell (2014), a pesquisa exploratória deve proporcionar melhor entendimento do objeto em estudo de forma minuciosa. Dessa forma, o planejamento assume caráter flexível, consistindo em análises de diversos fatores e fenômenos que não são possíveis de serem explorados por meio de questionários ou entrevistas.

Isto posto, para compreender o contexto no qual os participantes da pesquisa se inserem e analisar o panorama sobre o processo de aprendizagem e possíveis dificuldades apresentadas pelos estudantes durante as aulas de Química, em especial, na área de Química Orgânica, foi realizada uma observação participante. Que conforme afirma Minayo (2002, p. 59), “a técnica da observação participante se realiza através do contato direto do pesquisador com o fenômeno observado para obter informações sobre a realidade dos autores sociais em seus próprios contextos”.

As observações ocorreram semanalmente entre os meses de agosto e outubro de 2023, totalizando 15h. A fim de estruturar a coleta de dados, se utilizou “grades de observação semiabertas” (Apêndice A), adaptadas de Reis (2011). Estas grades se organizaram em dimensões que abrangeram aspectos comportamentais e cognitivos dos estudantes frente ao objeto do conhecimento. Dessa forma, possibilitando identificar as contribuições das metodologias utilizadas em sala e como os discentes assimilam e quais dificuldades apresentam no que tange a Química Orgânica.

Após a etapa de realização da observação participante, foram aplicados dois estudos-piloto com as temáticas de Funções Orgânicas e Isomeria, respectivamente. E nesta etapa, participaram uma turma da 3ª série do ensino médio contendo 36 alunos da escola pública estadual na qual o PE será aplicado.

De acordo com Thabane *et al* (2010) os estudos pilotos são investigações de pequena escala realizadas antes de um estudo principal em larga escala. Eles pretendem testar a viabilidade dos métodos e procedimentos a serem utilizados no estudo principal, bem como dar uma visão geral de possíveis dificuldades que podem surgir no decorrer da intervenção. Dessa forma, o objetivo desta etapa foi testar os instrumentos e procedimentos metodológicos que deverão ser adotados na intervenção direcionada para a aplicação do produto educacional e, se necessário, adequá-los conforme as lacunas encontradas.

3.4.3 Intervenção pedagógica baseada no Ensino Fundamentado em Modelagem utilizando Impressão 3D

A proposta didática visou desenvolver conhecimentos acerca das reações orgânicas de adição. Para isso, com o propósito de estruturar os conteúdos a serem apresentados aos estudantes sobre este tipo de reação, organizou-se a proposta didática sob a perspectiva de Klein (2017), no qual os princípios e particularidades da Química Orgânica são apresentados de maneira didática e por etapas interligadas, estimulando uma aprendizagem progressiva e contribuindo para o desenvolvimento de habilidades necessárias para além do contexto escolar.

As atividades desenvolvidas com os alunos foram fundamentadas no ‘Diagrama Modelo de Modelagem’ proposto por Justi e Gilbert (2016). É valido ressaltar que o diagrama não foi apresentado para os estudantes, utilizado somente para nortear as atividades e ações desenvolvidas nesta pesquisa. Dado isto, visando subsidiar as etapas de expressão e validação dos modelos, se utilizou a tecnologia de impressão 3D para modelar as representações das moléculas que formam os compostos orgânicos e suas possíveis interações.

A intervenção se organizou em 3 (três) etapas, que serão detalhadas a seguir:

1ª etapa: para proporcionar aos alunos experiências com o alvo a ser estudado, ou seja, a temática "reações orgânicas", foi utilizado texto de apoio e uma questão norteadora (Apêndice B), que abordaram reações presentes no cotidiano dos alunos a fim de direcionar discussões e a estimular a elaboração de modelos mentais iniciais.

2ª etapa: foram abordadas as reações de adição de maneira mais detalhada. Para um melhor desenvolvimento e acompanhamento das atividades, os alunos foram divididos em grupos e a etapa foi estruturada em 3 (três) momentos.

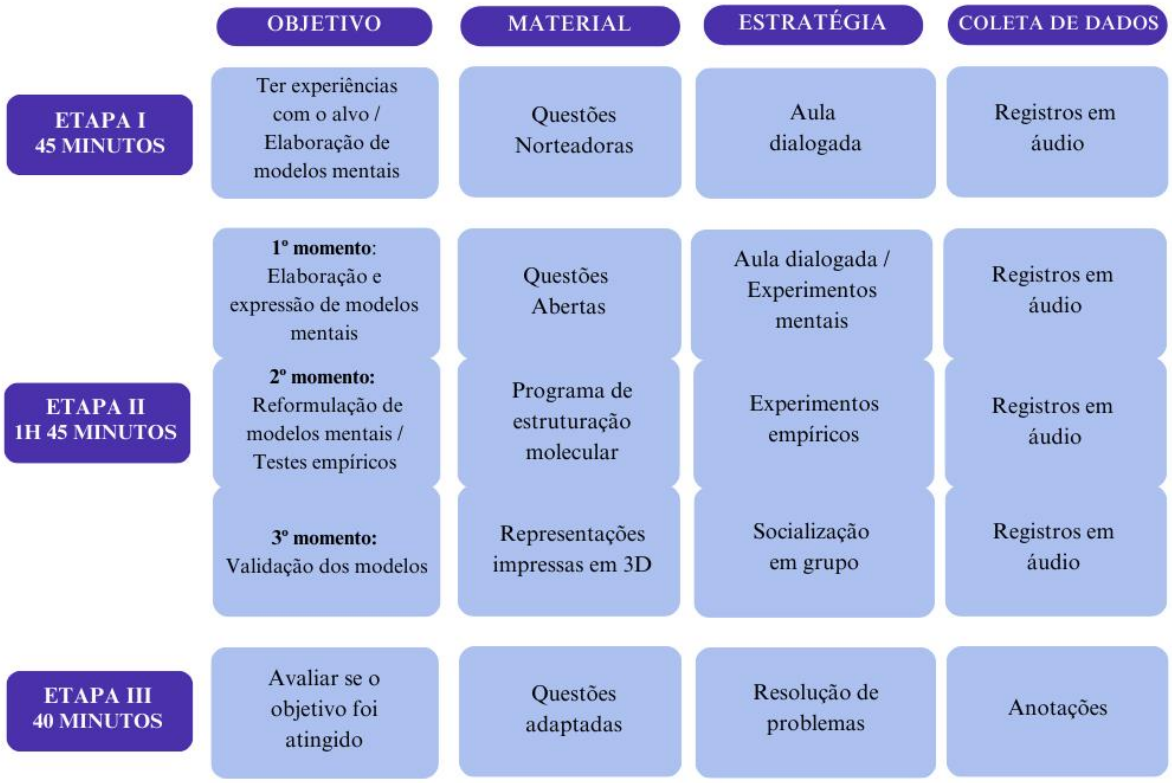
- No 1º (primeiro) momento, foram exploradas questões abertas (Apêndice C) sobre reações de hidrogenação, hidratação e hidroalogenação, direcionando o estudo para os mecanismos envolvidos nos compostos. Com isso, os estudantes tiveram a oportunidade de expressar seus modelos mentais ou reformulá-los, caso necessário.
- No 2º (segundo) momento, os alunos "testaram" os modelos elaborados no momento anterior por meio do editor de estrutura Química *KingDraw*[1], considerando os mecanismos de reação dos compostos. Com isso, o objetivo foi possibilitar a observação da coerência das estruturas quanto a ligações, átomos e disposição espacial das moléculas. É válido ressaltar que os alunos tiveram acesso ao programa de maneira prévia, para realização de demais atividades que perpassaram esta pesquisa.
- Para o 3º (terceiro) momento, os compostos elaborados pelos estudantes no *programa* de estruturação foram impressos em 3D no formato de peças de encaixe. Utilizando as representações impressas, os estudantes deveram montar os compostos orgânicos, observando suas limitações e abrangências, objetivando analisar se a modelagem se fez de maneira correta e quais possíveis falhas são apresentáveis nos modelos expressos.

3ª etapa: foi destinada para a realização da atividade final da intervenção. O objetivo foi de avaliar a compreensão conceitual sobre o conteúdo, após o desenvolvimento da proposta. Para isso, se utilizou de resolução de questões adaptadas de exames de acesso às universidades (apêndice D) que abordaram as reações de adição.

As descrições das atividades que foram realizadas no desenvolvimento da proposta estão apresentadas na Figura 4 consoante as etapas.

[1] Link para acesso ao programa: http://www.kingdraw.cn/en/

Figura 4 – Descrição das atividades de acordo com o diagrama de ‘modelo por modelagem’



Fonte: Autores (2025)

Destaca-se que a proposta se desenvolveu em 4 aulas de Química, distribuídas em 2 semanas consecutivas, com duração total de 1h 45 minutos. Todas as etapas ocorreram na sala regular de ensino, visto que os laboratórios que a escola disponha estavam em reforma no período de aplicação.

3.4.4 Processo de modelagem e impressão das moléculas em 3D

No que concerne ao processo de modelagem e impressão dos modelos tridimensionais, esta pesquisa apoia-se nos estudos de Lima (2022), Penny *et al*. (2017). Ambos apresentam percursos metodológicos para se elaborar estruturas Químicas tridimensionais, sendo o primeiro referente a estruturas não modulares e o segundo a estruturas modulares. Nesta pesquisa fez-se uso destes referenciais, os quais os procedimentos metodológicos foram adaptados.

Os autores Lima (2022) utilizam o programa *Avogadro* para a edição das estruturas moleculares impressas em 3D. No entanto, esse programa apresenta uma curva acentuada de aprendizagem para alunos da educação básica. Dessa forma, diferindo do percurso apresentado

pelos autores, o presente estudo recorre à plataforma online *Molview* (para o momento da prototipação) e ao programa *KingDraw* (aplicação da proposta).

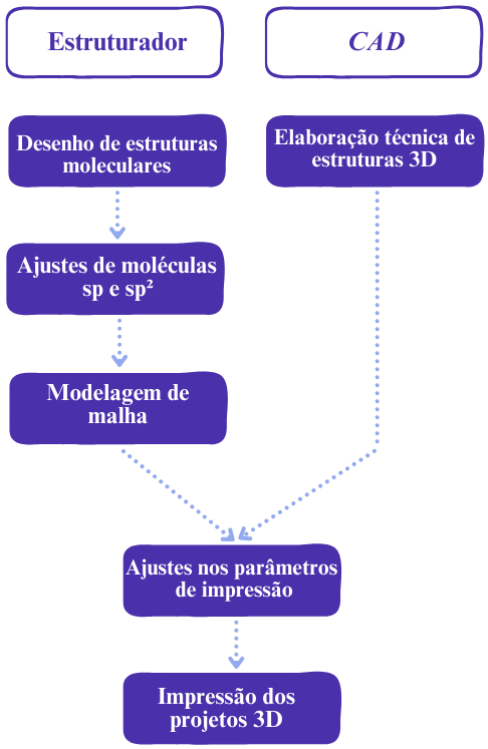
No estudo de Penny *et al.* (2017), foram elaboradas estruturas modulares para o ensino de estereoquímica, hibridização e orbitais. Os autores elaboraram uma série de representações de átomos de carbono com pontos de fixação apropriados para diferentes hibridizações e ligações. A fim de que os estudantes possam testar e explorar diversas interações durante o estudo das reações de adição, na presente pesquisa, adaptaram-se os pontos de fixação das representações. Com isso, padronizando o encaixe de maneira independente do tipo de ligação ou hibridização.

Em ambos os referenciais, recorreu-se ao filamento ABS (acrilonitrila butadieno estireno), dada sua característica maleável e de fácil acabamento. Contudo, esse material, em comparação a outros filamentos, apresenta maior fragilidade. Com isso, neste estudo se utilizou o filamento PLA (Ácido poliláctico), sendo selecionado devido à sua menor propensão a deformidades durante o processo, alta resistência após acabamento e sua biodegradabilidade, uma vez que o PLA é proveniente de fontes renováveis.

I) Procedimentos de modelagem para impressão 3D

A obtenção inicial dos projetos moleculares para a impressão 3D pode ocorrer a partir de duas possibilidades: a obtenção por meio de base de dados pré-existentes ou a elaboração das estruturas por meio de programas de desenho e estruturação molecular. Nesta pesquisa, se fez uso de ambas as formas, objetivando adequá-las conforme a proposta em questão, como apresenta a Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma referente aos processos de modelagens das estruturas em 3D



Fonte: Autores (2025)

Para o desenvolvimento dos projetos, partindo de um editor de desenhos químicos, optou-se por trabalhar com os aplicativos *MolView e KingDraw* em momentos distintos. Sendo o primeiro, utilizado no momento de prototipação da proposta e o segundo, sendo utilizado na aplicação da proposta real. Ambos apresentam código livre e somente o último necessita ser instalado no dispositivo do usuário.

Estes programas permitem a elaboração e visualização em 2D e 3D de estruturas moleculares, além de possibilitar a edição das estruturas já disponibilizadas na base de dados e destacar aspectos referentes aos cálculos de massa e ângulos diédricos de ligações. A escolha pelo *KingDraw* para utilização na proposta, se deu devido à presença de algumas ferramentas, como setas curvas e de equilíbrio, além de notação de carga, facilitando a representação dos mecanismos de reações que deverão ser trabalhados pelos alunos.

Posto isto, após o desenho tridimensional das moléculas nos programas, estas devem ser salvas na extensão MDL (*.Mol)*, o qual assegura a manutenção das características tridimensionais das moléculas. No entanto, arquivos neste formato que apresentem compostos com hibridização sp e sp² quando acessados por modeladores 3D tendem a apresentar falhas

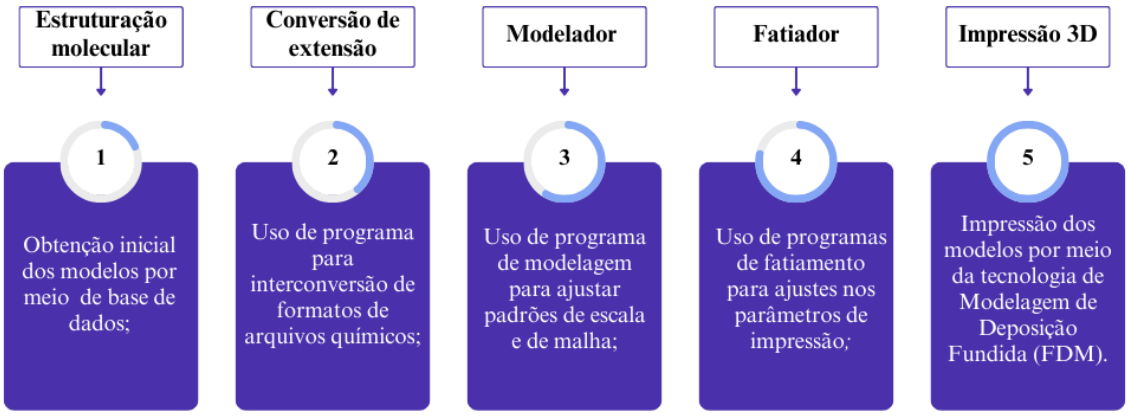
estruturais. Com isso, recomenda-se a conversão de MDL para a extensão PDB *(.pdb)*. Para este fim, fez-se o uso do programa *OpenBabel,* sendo um programa de código livre que possibilita preservar as características tridimensionais das moléculas que apresentem este tipo de ligação.

Dada à conversão de extensão dos projetos, estes devem ser importados para o programa *Blender 3D* utilizando o *add-on* intitulado "*Atomic Blender*". É válido ressaltar que este recurso pertence ao programa e não necessita ser adquirido de forma externa, sendo apenas necessário ser ativado na aba referente a configurações. Posto isto, este *add-on* importa e lê as coordenadas de estruturas atômicas tridimensionais nas extensões PDB/XYZ, representando-os no formato de bolas e bastão.

Ao executar o projeto no modelador, deve-se configurar a sua representação para "Malha" *(Mesh)* e alterar a escala de bolas e bastões para 0.5 e 1.0, respectivamente. Para o modelo de bolas e bastões, se preservou o tipo *"Dupliverts"* com os seguintes parâmetros: setor 20, raio igual a 0,1 e unidade 0,05. Por meio do parâmetro *"Bonds",* deu evidência às ligações, objetivando ter uma melhor visão da malha que estrutura estas no programa.

Feito isto, ainda no *Blender 3D*, deve ser explorada as ferramentas de modificação de escalas dos átomos; de ajuste das instâncias das ligações para tornar a estrutura menos propensa a falhas estruturais, bem como, de renderização e suavização da malha para posterior importação do projeto para um programa de fatiamento. A síntese de todo o processo, utilizando o modelador, é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Síntese do processo utilizando estruturadores moleculares



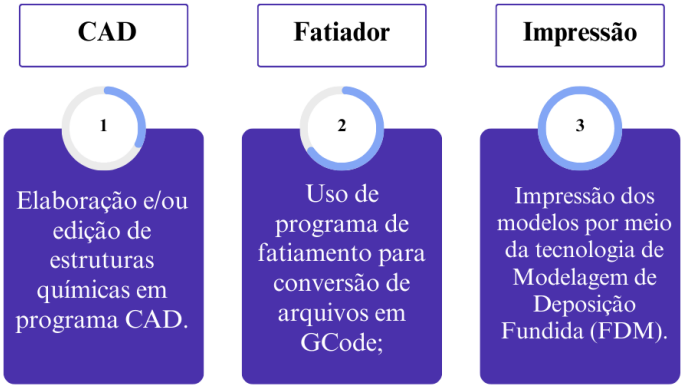
Fonte: Autores (2025)

Por sua vez, o processo para a elaboração do projeto de impressão sem a utilização de uma base de dados também apresenta suas especificidades. Para tal, deve-se escolher um

programa de modelagem 3D. Nesta pesquisa, optou-se pelo modelador *3DSMax,* sendo um dos programas mais completos para desenhos técnicos e diversos projetos que precisem de elevado nível de precisão. Dessa forma, sendo a ideia neste estudo a de elaborar peças modulares e de encaixe visando à montagem de compostos orgânicos, este programa se mostrou bastante adequado.

Para início deve-se configurar o *layout* da tela inicial do programa para *"3D Basic"* e a vista da tela deverá ser alterada para *"SW Isometric"*. Feito isto, alguns comandos deverão ser executados a fim de construir os sólidos geométricos que representaram as estruturas Químicas com encaixes, sendo estes: Box; Extrude; Revolve; Loft; Sweep; Presspull; Union e Intersect. Em suma, estes, possuem o objetivo de escolher qual sólido será utilizado, elaborar elevações, sobreposições ou mesclagem nestes sólidos, além de realizar a união, subtração e interseção destes. Na Figura 7 se encontra este processo de forma sintetizada.

Figura 7 – Síntese do processo utilizando programa *CAD*



Fonte: Autores (2025)

Realizada a elaboração dos projetos, seja por estruturador molecular ou utilizando um programa CAD diretamente, os arquivos deverão ser salvos na extensão *STereoLithography (*.stl)* e posteriormente exportados para um fatiador. Estes programas têm como premissa a conversão de projetos tridimensionais para a extensão G-Code *(.Gcode)*, permitindo que sejam impressos camada por camada, com precisão e detalhamento.

II) Parâmetros para impressão 3D

Os parâmetros de impressão devem ser ajustados no programa de fatiamento, após os procedimentos de modelagem. Nesta pesquisa, usou-se o programa *Ultimaker Cura, por ser* um programa gratuito, de fácil acesso, que apresenta uma gama de parâmetros de impressão essenciais para alcançar bons resultados. Embora o programa disponha de variadas

possibilidades de configurações, aqui serão descritos os principais parâmetros ajustados para a impressão das peças.

A) Resolução de camada:

A resolução de camada se refere à altura (espessura) de cada camada que irá compor a peça. Essa resolução varia entre valores de 0,06 mm (extra fino) a 0,6m (extra grosso). Quanto mais próximo do extra fino, maior a qualidade da peça, no entanto, demandando maior tempo de impressão.

B) Preenchimento

Como o próprio nome indica, se refere ao que irá preencher a peça. Os ajustes para este parâmetro variam de 0% a 100%, e dependem das características e uso da peça a ser impressa. Quanto mais próximo à densidade do preenchimento estiver de 100%, mais resistente será a peça, no entanto, necessitando maior tempo de impressão. Recomenda-se a margem de 30% a 50% de preenchimento para haver uma boa resistência e um bom tempo de impressão.

Além da densidade, também, se deve ajustar o tipo de preenchimento a ser utilizado, ou seja, de que forma a peça será preenchida. O *Cura* apresenta 14 tipos de preenchimento que variam entre as formas de grades, linhas e padrões geométricos. Estes, também, devem ser ajustados de acordo com a necessidade da peça, no entanto, recomenda-se o uso do tipo grade, devido a sua boa adequação aos diversos formatos de peças.

C) Suporte

Este parâmetro é fundamental para dar apoio a peças que tenham considerável altura ou apresentem ramificações em sua estrutura. Devido ao processo de impressão se dar por meio da deposição de camada por camada, estas precisam estar firmes para que a peça não apresente falhas ou se soltem da mesa durante o processo. No programa existem 2 tipos de suportes, denominados de normal e árvore, que apresentam aspectos de pilares ou estruturas remetentes a galhos de árvores, respectivamente.

D) Aderência

O parâmetro de aderência garante a fixação da peça a mesa e a qualidade das primeiras camadas a serem impressas. Como a impressão 3D é realizada por deposição de camadas, as primeiras são como bases e devem apresentar boa qualidade, visando dar estrutura para a materialização da peça. O programa traz 3 tipos de aderência, que se diferenciam pela necessidade de densidade da fixação da peça.

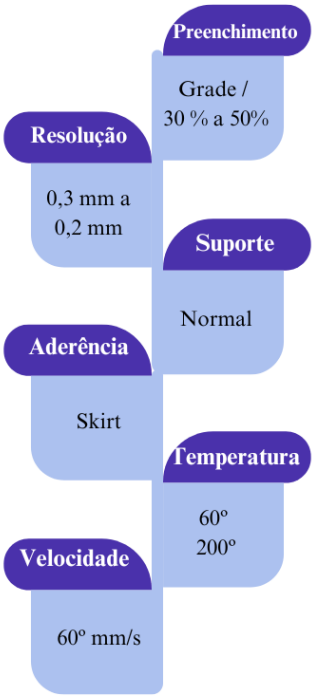
E) Material

A configuração desse parâmetro garante a compatibilidade das características do filamento utilizado e da impressora. Deve-se ajustar a temperatura da mesa de impressão e da extrusora (bico), no qual devem seguir os limites conforme o material utilizado. Em caso de não configuração ou erro, há risco de que o fluxo de filamento a ser depositado seja maior ou menor do que esperado, causando falhas nas peças ou danos técnicos da impressora, como o entupimento da extrusora.

F) Velocidade

A velocidade de impressão se refere à rapidez que será empregada para a construção da peça. Recomenda-se, que a velocidade seja em uma média de 40 mm/s a 60 mm/s para haver uma boa aderência entre as camadas e, consequentemente, uma boa qualidade. É válido ressaltar que, mesmo com os demais parâmetros ajustados, se a velocidade for configurada de maneira equivocada, a peça apresentará falhas. Com isso, este é um dos parâmetros mais importantes que se deve ter muita atenção ao ser ajustado. Apresentados os parâmetros gerais para impressão das peças, a Figura 8 sintetiza as configurações utilizadas neste estudo.

Figura 8 – Parâmetros gerais da impressão 3D



Fonte: Autores (2025)

No que tange aos parâmetros utilizados para a elaboração das peças, observou-se a necessidade de ajuste conforme as especificidades das representações. O ângulo dos encaixes feitos nas esferas seguiu alguns padrões da geometria angular dos átomos e moléculas, bem como as esferas foram modeladas levando em consideração a propriedade de raio atômico dos elementos que constituem a Tabela Periódica. A fim de identificar as ligações e os diferentes átomos, estes foram coloridos utilizando cores fantasias. Os detalhes destes e demais parâmetros estão apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Parâmetros de confecção

	ENCAIXE	DIMENSÃO	COR
CARBONO	109,5º	2 cm	Preto
OXIGÊNIO	104,5º	1,5 cm	Vermelho
CLORO	180º	2,2 cm	Verde
BROMO	180º	2,5 cm	Lilás
HIDROGÊNIO	---	1 cm	Branco
LIGAÇÕES	---	2,5 cm	Cinza

Fonte: Autores (2025)

3.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A coleta de dados se dará de maneira abrangente, utilizando-se de registros em áudio das atividades e respostas escritas referente à resolução de questões abertas. A gravação das aulas tem como objetivo analisar aspectos de elaboração, reformulação e socialização dos modelos propostos entre os pares. Para isso, nas etapas 1 e 2, os gravadores serão posicionados em pontos estratégicos da sala de aula, considerando a disposição dos alunos, objetivando coletar as discussões acerca do objeto em estudo.

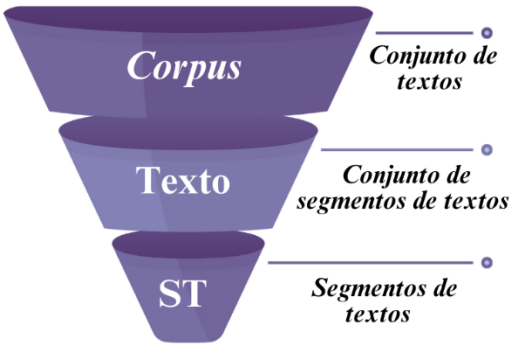
Dada a coleta de dados no desenvolvimento da intervenção, estes foram analisados, explorados, tratados e interpretados sob a luz da análise de conteúdo (Bardin, 2016), com

suporte do programa IRAMUTEQ (*Interface de R pour lês Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires).*

De acordo com Bardin (2016), a análise de conteúdo íntegra utiliza procedimentos de explicitação, sistematização e expressão de dados científicos por meio de deduções lógicas, se utilizando das etapas de: 1) pré-análise; 2) exploração do material; 3) tratamento, inferência e interpretação dos resultados.

Para auxiliar no processamento dos dados, utilizou-se o programa IRAMUTEQ. Este trata-se de um programa com código livre, desenvolvido na linguagem Python que utiliza funcionalidades providas pelo *software* R[2]. Ele desenvolve as análises a partir de *corpus* textuais formados por textos, que podem ser constituídos por categoria ou grupo. Após uma análise inicial, o programa transforma textos em segmentos de texto (ST), normalmente frases ou períodos, utilizados para criar as matrizes de análise textual (Figura 10). Com isso, são realizadas diferentes análises de textos, se fazendo valer de técnicas de classificação hierárquica, descendente, nuvem de palavras e análise de similitude (Souza *et al.*, 2018).

Figura 10 – Noção de corpus, textos e segmentos de textos



Fonte: Autores (2025)

Partindo deste princípio, na etapa de pré-análise, ocorreu a leitura flutuante e organização do material e, posteriormente, foi organizado por respostas individuais dos alunos e/ou equipes, a depender da etapa da proposta. Ressalta-se que, para um processamento efetivo no programa, o *corpus* textual deve ser preparado seguindo alguns procedimentos e parâmetros.

Desse modo, todos os textos devem ser organizados em arquivo único por meio de linhas estreladas contendo a indicação da unidade, seguido de 5 asteriscos, como, por exemplo, "**** *aluno 1". Em seguida, deve-se retirar todos os tipos de acentos, pontuações, cedilhas e vícios

[2] www.r-project.org

de linguagem. Em casos de palavras com hífen, sugere-se que utilize o *underline* para uni-las. Após a preparação do material, este deve ser salvo no código UTF-8[3] sem formatação.

Após o preparo do material, a etapa de exploração dos dados foi realizada pelo software. Para isso, os dados obtidos foram interpretados utilizando o método da Classificação Hierárquica Descendente (CHD). Este método tem por objetivo obter classes a partir de clusters de ST com vocabulários semelhantes entre si e, também, diferentes de outras classes por meio de uma representação gráfica de um dendrograma que agrupa os ST's a partir do seu léxico gramatical. Além dessa representação, o programa também oferece com o mesmo princípio a apresentação dos dados por Análise Fatorial de Correspondência (AFC) que traz a análise em um plano cartesiano dos diferentes termos associados a cada uma das classes da CHD. Dessa forma, as aproximações e distanciamentos entre elas podem ser verificados conforme seus posicionamentos nos quadrantes.

Ao gerar o dendrograma com a CHD, são apresentados alguns dados estatísticos referentes ao *corpus* textual analisado. De acordo com Camargo e Justo (2013), estes dados podem ser decodificados da seguinte maneira:

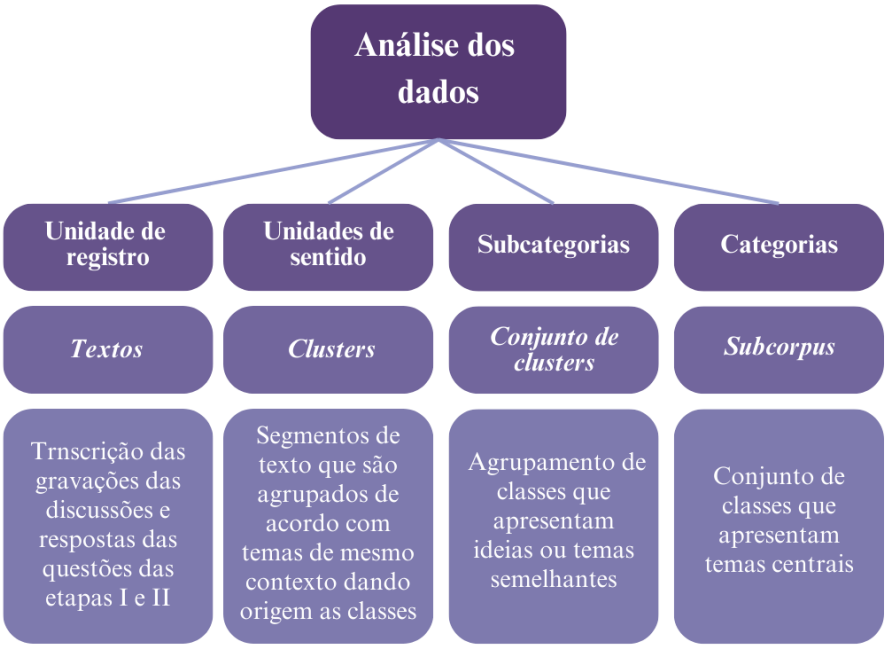
- **Número de textos**: é o número no qual o programa reconhece a divisão do *corpus*.
- **Número de ST**: é o número de repartições que o programa realiza no *corpus*.
- **Número de formas**: número de palavras ativas (adjetivos, substantivos, verbos e advérbios) e suplementares (artigos e pronomes) no *corpus*.
- **Número de ocorrências**: número de palavras contidas no *corpus*.
- **Número de lemas**: número diferente do número de formas, visto o programa reduz as palavras identificadas a uma raiz comum. Por exemplo, as palavras "aprendendo", "aprendeu" e "aprende" são convertidas à raiz comum "aprender".
- **Média das formas por segmentos:** É o número de ocorrências dividido pelo número de textos.

Ressalta-se que as análises realizadas pelo método de CHD, para terem validades, precisam de uma retenção mínima de 75% do *corpus* textual. Para isso, recomenda-se que todo o corpus textual seja minunciosamente tratado, como mencionado acima. Quando uma análise é inferior a este percentual, oferece dados parciais e sujeitos a falhas (Camargo; Justo, 2013).

[3] UCS *Transformation Format* 8, sendo a codificação bastante utilizada na linguagem *phyton* e a mais comum na *World Wide Web*

Deste modo, a análise de conteúdo associada ao IRaMuTeQ foi realizada conforme a Figura 11.

Figura 11 – Organização para análise dos dados



Fonte: Autores (2025)

Os textos, provenientes da transcrição das gravações e das respostas das atividades, foram processados pelo software, dando origem a segmentos de textos. Estes, por sua vez, foram agrupados a partir de termos pertencentes a contextos semelhantes e distintos, gerando assim as classes. Em seguida, o conjunto de classes são agrupadas de acordo com temas semelhantes, resultando nas subcategorias, que, por fim, deram origem às categorias que apresentam os temas centrais da análise.

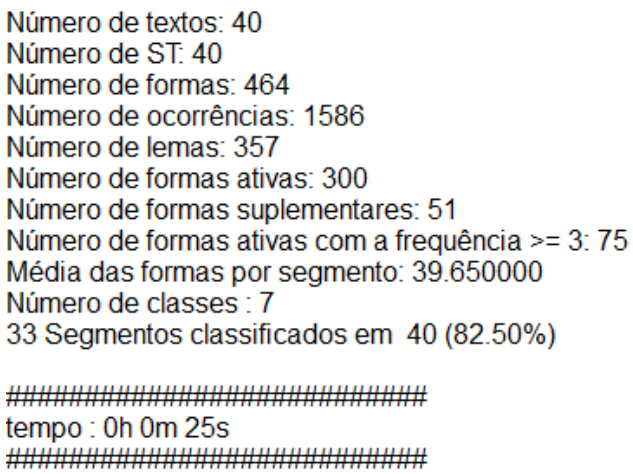
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ETAPA I: MODELOS INICIAIS

Esta etapa se desenvolveu em 45 minutos e teve como objetivo proporcionar aos alunos experiências com o alvo a ser estudado, ou seja, a temática das “reações orgânicas”. Para isso, foi utilizado um texto de apoio que abordou reações presentes no cotidiano dos alunos a fim de direcionar discussões e estimular a elaboração de modelos iniciais. Com base no texto, os estudantes tiveram que esboçar uma representação genérica de como eles compreendiam a ocorrência de uma reação.

Para isso, foi realizada a transcrição das respostas dos estudantes conforme os procedimentos exigidos para o tratamento dos dados, no qual se obtiveram as seguintes estatísticas de validação (Figura 12):

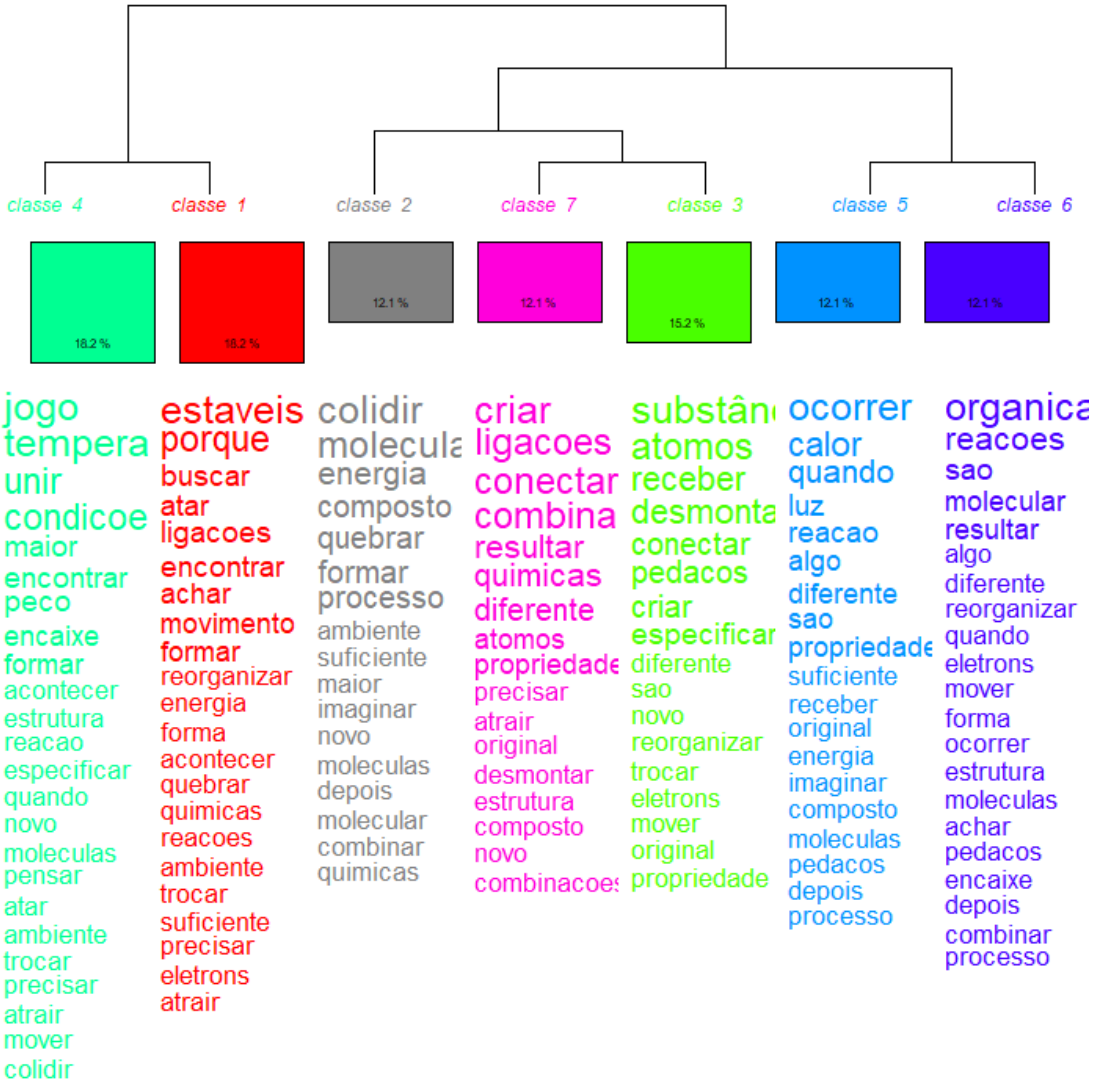
Figura 12 – Resultado da CHD dos modelos iniciais



Fonte: Autores (2025)

O processamento do *corpus* foi realizado em 25 segundos, sendo classificadas 464 formas, das quais 357 foram aproveitadas, obtendo assim um aproveitamento de 82,50% do total do *corpus*, demonstra a ligação entre elas, na qual cada uma possui uma cor diferenciada, conforme a Figura 13.

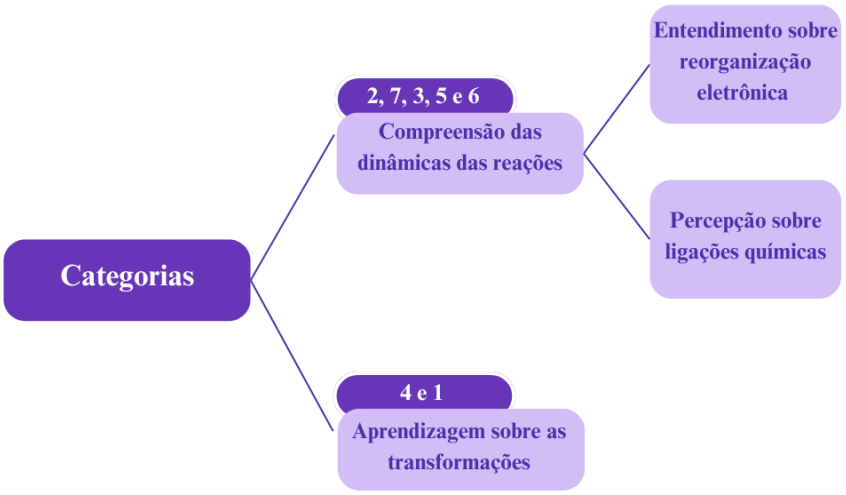
Figura 13 – Dendograma das classes referentes aos modelos iniciais



Fonte: Autores (2025)

Após processamento, foi gerado um dendrograma das classes, que apresenta uma organização hierárquica das categorias e suas conexões. Observa-se que o *corpus* resultou em duas categorias: 1ª) Compreensão das dinâmicas das reações orgânicas e 2ª) Aprendizagem sobre as transformações de substâncias. Na figura 14 mostra a esquematização da análise realizada, a qual é detalhada em seguida.

Figura 14 – Esquematização das categorias resultantes da etapa I



Fonte: Autores (2025)

A 1ª categoria "**Compreensão das dinâmicas das reações orgânicas**" reflete os processos relacionados ao rearranjo de elétrons e à dinâmica molecular durante uma reação química. Inclui as seguintes classes; a 2: apresenta palavras como "colidir", "energia", "molecular" e "processo", indicando o início de uma reação, que ocorre por meio de interações moleculares e fornecimento de energia. Enquanto as classes 7 e 3 são derivadas da classe 2, focam no rearranjo eletrônico e reorganização estrutural das moléculas. Destacam-se palavras como "combinar", "desmontar", "trocar" e "mover", que sugerem transformações específicas no nível atômico e eletrônico. Juntas, essas classes (2, 7 e 3) formam a subcategoria denominada "**Entendimento sobre reorganização eletrônica**", que explora o papel do movimento e da redistribuição de elétrons nas reações químicas.

Na subcategoria referente ao "entendimento sobre reorganização eletrônica" os estudantes esboçaram a ideia de movimento dos elétrons para uma reação ocorrer. Aliado a isso, alguns mencionaram uma possível produção de novas ligações, porém, sem detalhar possíveis fatores para isso, além de uma possível notação de carga dos elétrons. Observa-se, em suma, uma analogia a peças de encaixe, onde compostos e moléculas são fragmentados e se combinam para realizar uma reação. Analisando as unidades de registro, para exemplificar a subcategoria criada, destacam-se alguns trechos do *corpus* textual que sustentam a interpretação apresentada.

> (...) as moléculas se desmontam e depois se organizam para formar novas substâncias; (...) como uma troca de pedaços entre as moléculas onde cada um oferece ou recebe elétrons de outro; (...) possuem polos opostos que mostram como elas se atraem e se

> combinam essa atração faz com que novas ligações sejam criadas (**aluno 37, aluno 05; aluno 35,** respectivamente)

Destaca-se que as classes 5 e 6 formam a subcategoria "**Percepção sobre ligações químicas**", associando à ideia de quebra e formação de novas ligações. Palavras como "calor", "luz", "energia", "liberar" e "pedaços" apontam para as condições e produtos da reação, sugerindo eventos como absorção ou liberação de energia e alteração da estrutura molecular.

Outra ideia destacada se refere à quebra e produção de ligações químicas, que apresenta uma concepção da necessidade dessa quebra para liberação de espaço para a inserção de novas moléculas. Nessa subcategoria, diferente da anterior, os estudantes mencionaram fatores como luz e calor como catalisadores para as reações, os quais interferiam nas propriedades dos produtos. Contudo, a ideia de fragmentação também se fez presente nessa categoria, o que demonstra que, embora os alunos tenham consciência dos fatores externos, ainda compreendem os compostos por meio de concepções alternativas. Observa-se, os seguintes excertos que apresentam tais ideias.

> (...) as moléculas se juntam quando ocorre algo como calor ou luz ou uma outra substancia que funciona como incentivo; (...) uma reação ocorre quando as moléculas recebem energia suficiente para quebrar as ligações e juntar elas de novo de outra forma; (...) as moléculas explodem ao entrar em contato umas com as outras liberando energia depois os pedaços se juntam novamente (**aluno 17**; **aluno 40**; **aluno 12,** respectivamente).

Os modelos elaborados por este grupo indicam que os estudantes apoiam suas ideias em analogias para explicar a interação entre átomos e moléculas. De acordo com Gilbert e Justi (2016)**,** essas representações podem ser chamadas de modelos espontâneos, sendo modelos desenvolvidos a partir de experiências cotidianas e de um ensino que, muitas vezes, que tem caráter de memorização em detrimento da compreensão dos processos envolvidos.

Além disso, observa-se que os alunos possuem uma percepção limitada sobre os fatores externos que influenciam as reações químicas, como luz e calor. Para Gilbert e Justi (2016)**,** esse aspecto pode indicar uma lacuna na modelagem feita pelos alunos, ainda que sejam modelos iniciais, podendo ser atenuada por atividades experimentais ou simuladas.

A 2ª categoria, "**Aprendizagem sobre as transformações de substâncias**" aborda as alterações das substâncias em um contexto mais amplo, além do rearranjo eletrônico. A classe 1 e a classe 4 complementam as ideias das demais classes ao reforçar a noção de transformação de substâncias. Palavras como "unir", "encaixe", "formar" e "combinações" sugerem construir novas estruturas ou substâncias a partir de componentes iniciais. Esses termos apontam para a

integração das moléculas em estruturas maiores, completando o ciclo de transformações químicas.

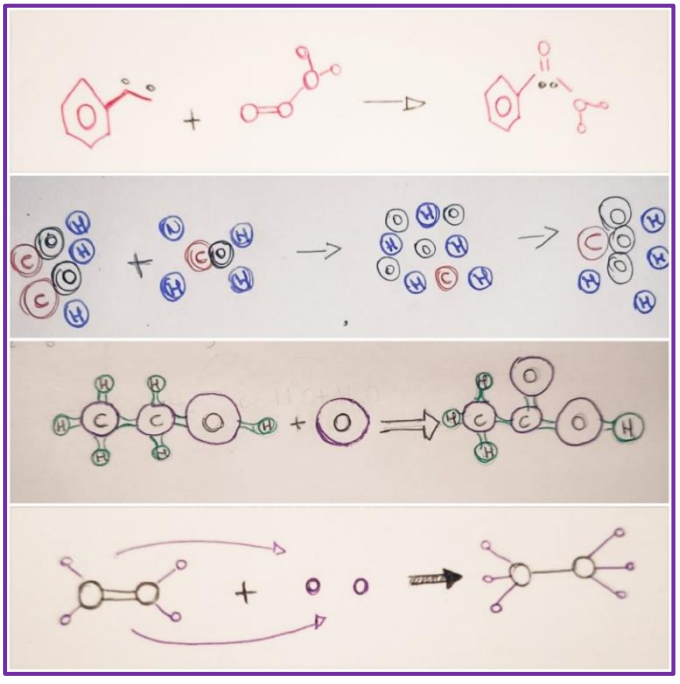
Para alguns alunos, por meio do movimento dos elétrons e quebra de ligações, os compostos se transformam. Nas ideias apresentadas por eles, a "quebra" complementa o conceito de "formação" de novas ligações e de novos arranjos, em um processo que não é destrutivo. Aqui, diferente das demais, houve menção à ideia de cinética química ao se referirem a "energia", mesmo que de maneira não proposital. É possível observar esta concepção nos seguintes trechos.

> (...) as moléculas se encontram em um ambiente cheio de movimento, trocam energia e depois se reorganizam, por quebra de ligações até formar novas ligações; (...) se encontram em alta temperatura, por exemplo, e se misturam, quebrando as ligações e formando uma molécula maior; (...) se chocam em alta velocidade em ambiente com muita pressão e, com isso, seus átomos trocando de lugar formando novos compostos (**aluno 6; aluno 01; aluno 25**, respectivamente).

Nesta perspectiva, os autores Dood & Watts (2022) afirmam que alguns alunos têm dificuldades em articular os fundamentos das reações com o movimento de elétrons. Nos modelos elaborados, isso se apresenta pela ausência de alguns termos-chave como, por exemplo, pares de elétrons livres.

Alguns desses modelos iniciais foram representados graficamente, conforme apresenta a Figura 15.

Figura 15 – Amostra dos modelos iniciais elaborados

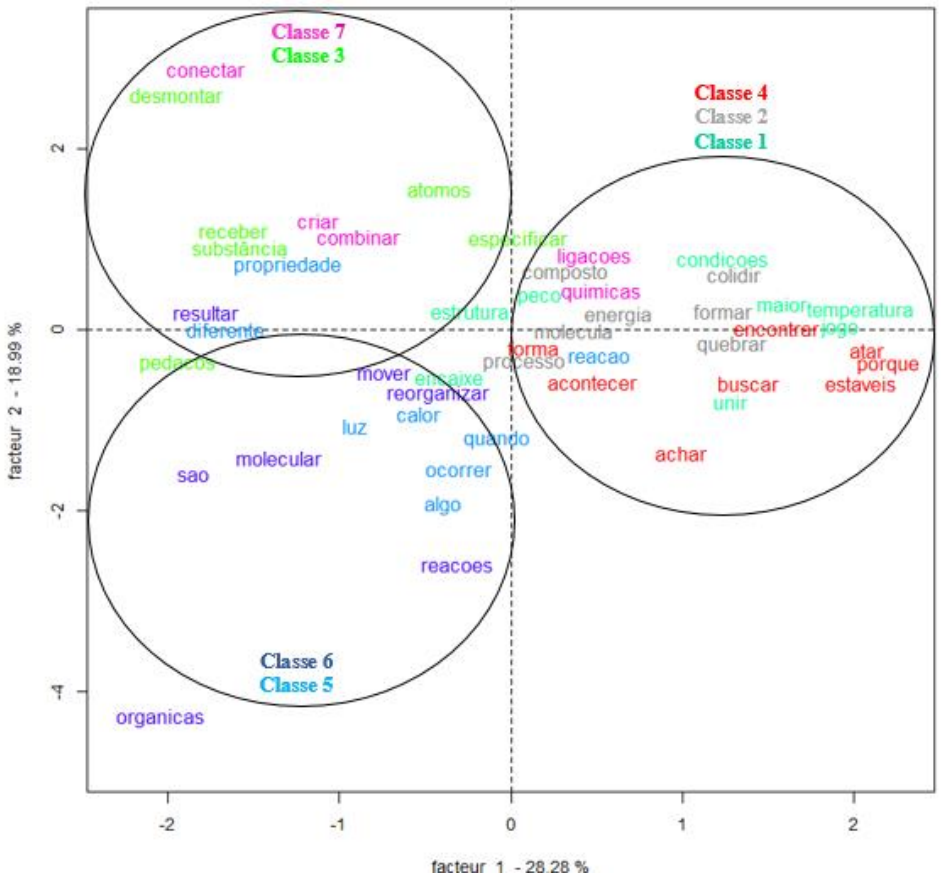


Fonte: Autores (2025)

Embora seja possível observar respostas coerentes para o momento da proposta, na qual os alunos apresentam certa compreensão conceitual, observa-se que eles apresentam dificuldade de articular o raciocínio químico com as etapas das reações. De acordo com Watts *et al*. (2020), este entrave se enfatiza por lacunas conceituais, que implicam na compreensão de princípios químicos, fazendo com que o aluno tenha foco somente em ilustrações simbólicas, sem preocupações com aspectos coerentes microscopicamente. Fato que ressalta, também, a necessidade de integração dos níveis representacionais.

Ainda se pode constatar, por meio da observação da análise fatorial de correspondências (AFC) gerada no IRaMuTeQ (Figura 16), que as classes mencionadas se relacionam conforme a aproximação e distanciamento das palavras destaques nos quadrantes.

Figura 16 – Representação fatorial dos modelos iniciais



Fonte: Autores (2025)

O eixo 1 (vertical), que explica 28,28% da variância, representa o principal fator de diferenciação entre as concepções dos estudantes, destacando as ideias mais polarizadas ou contrastantes nas respostas. Já o eixo 2 (horizontal), responsável por 18,99% da variância, adiciona um nível complementar de análise, revelando indicadores adicionais entre os agrupamentos formados.

Ao comparar esses resultados com a análise qualitativa realizada, pode-se inferir que os achados qualitativos têm uma correspondência significativa com os dados quantitativos. Por exemplo, a fragmentação conceitual na compreensão dos estudantes sobre as reações de adição observada qualitativamente, como a separação entre os conceitos de quebra de ligações Químicas (classes 5 e 6) e rearranjo de elétrons (classes 7 e 3), embora coerentes individualmente, é corroborada pela distribuição no gráfico, especialmente ao longo do eixo 2, onde essas classes se encontram afastadas em quadrantes opostos, ou seja, não apresentam uma associação clara entre si. Isso sugere que aproximadamente 18,99% da variância quantitativa reflete a polarização central observada qualitativamente.

Os 28,28% explicados pelo eixo 1 trazem uma observação relevante: este eixo separa as classes 1, 2 e 4 das demais, evidenciando que essas classes se encontram próximas no mesmo quadrante. Destaca-se a proximidade entre a 2ª categoria, "Aprendizagem sobre as transformações de substâncias" (classes 1 e 4), e a classe 2, pertencente à subcategoria "Entendimento sobre reorganização eletrônica". Essa proximidade sugere que os estudantes associam parcialmente a transformação de substâncias com aspectos relacionados ao rearranjo de elétrons.

No entanto, a separação dessas classes das demais indica que essa associação não é integrada com outras ideias, como a quebra de ligações químicas (classes 5 e 6) ou o rearranjo mais amplo de elétrons (classes 7 e 3). Isso nos leva a sugerir que os estudantes têm uma compreensão fragmentada, concentrando-se mais em conexões pontuais entre a transformação de substâncias e o rearranjo eletrônico local, sem articular plenamente os diferentes fatores envolvidos em uma reação química orgânica.

Dessa forma, os achados quantitativos reafirmam a análise qualitativa, conferindo uma perspectiva mais objetiva às tendências observadas. A porcentagem relativamente alta de variância explicada pelos dois eixos (47,27%) sugere que os padrões identificados qualitativamente encontram respaldo estatístico, destacando tanto as conexões estabelecidas quanto a fragmentação nas concepções dos estudantes. Contudo, também reforça que mais da metade da variância (52,73%) permanece associada a outros fatores não explorados diretamente nesta pesquisa, o que pode indicar a necessidade de aprofundar estudos adicionais envolvendo as reações de adição para abarcar essas dimensões.

Contudo, essa proximidade indica que os estudantes tendem a compreender os fatores que contribuem para as reações de maneira isolada, sem integrar completamente os conceitos necessários para explicar a ocorrência de uma reação orgânica. Essa análise reforça a ideia de que o entendimento dos estudantes sobre reações químicas é fragmentado, dificultando a

combinação de elementos como quebra de ligações, rearranjo de elétrons e transformação de substâncias em um conceito unificado.

Os autores Meneses e Núñez (2018) apontam que os estudantes desenvolvem respostas químicas de forma simplificada, como se fossem processos lineares e desconectados, sem considerar a complexidade das interações e dinâmica presentes. Esse direcionamento se alinha com a análise, na qual se observa que os estudantes têm dificuldades em integrar os diferentes conceitos, como o movimento de elétrons, transformação e a quebra de ligações. Indicando uma visão fragmentada do conteúdo, que os impede de entender as reações como um sistema complexo.

Contudo, infere-se que essas ideias se apresentam de maneira correta para uma explicação geral das reações, com um adendo para a primeira apresentada referente a "rearranjo de elétrons das ligações". Com ela, foi possível observar uma confusão acerca da localização dos elétrons, uma vez que foi afirmado que eles estavam presentes nas ligações e não nos átomos. Contudo, ao ter um rearranjo de elétrons durante uma reação orgânica, os elétrons não estão "nas ligações", mas sim sendo compartilhados por ligações covalentes entre os átomos (Klein, 2017).

As demais ideias apresentam melhor coerência, pois em uma reação orgânica ocorre a quebra das ligações nos reagentes iniciais e a formação de novas ligações para gerar os produtos da reação. Dessa forma, o objetivo principal é a transformação de substâncias orgânicas para a produção de novos compostos com propriedades específicas.

Porém, essas foram ideias gerais as quais os estudantes não conseguiam aprofundar nesse primeiro momento. Quando questionados sobre de que forma poderia haver uma quebra de ligação ou o rearranjo de átomos, não sabiam explicar com detalhes. Alguns alunos mencionaram fatores como temperatura e pressão, mas sem se aprofundar. Estes detalhes procuraram ser desenvolvidos na etapa seguinte.

A dificuldade em aprofundar a explicação sobre a ocorrência de quebras de ligações e demais fatores envolvidos destaca lacunas de aprendizagens de conteúdos de outras áreas da Química que já deveriam ter sido abordados anteriormente (Ferreira Del Pino, 2009). Além da necessidade da integração de diversos conceitos para uma boa compreensão dos fenômenos relacionados à temática (Dood; Watts, 2022).

4.2 ETAPA II: EXPRESSÃO, REFORMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS

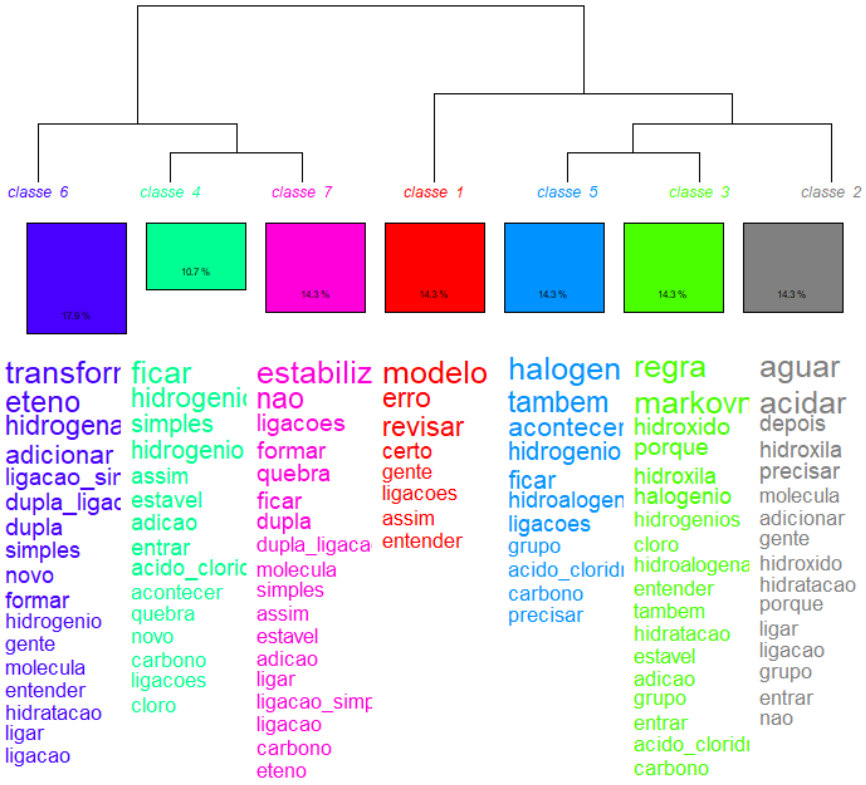
Esta etapa foi organizada em três momentos de 45 minutos cada, nos quais os alunos foram organizados em grupos, para assim, terem um melhor acompanhamento. No primeiro momento, foram exploradas questões abertas sobre reações de adição, que buscaram direcionar o estudo para os fundamentos envolvidos. No segundo momento, os alunos tiveram que "testar" os modelos elaborados no momento anterior por meio do editor de estrutura Química *KingDraw*. E, por fim, no terceiro momento, foram utilizadas peças modulares impressas em 3D para realizar a representação das reações.

A seguir será apresentado o estudo de caso do grupo 4, composto por 6 integrantes, participante desta pesquisa. A escolha desse grupo se deu por ele ser representativo do desempenho geral da turma, considerando o desenvolvimento dos alunos ao longo das aulas, além de sua assiduidade. Todas as discussões realizadas de maneira geral, isto é, entre aluno-aluno e professor-professor para a expressão, reformulação e validação dos modelos, foram gravadas e processadas no software para tratamento dos dados.

Para o início desta etapa, foram apresentados os tipos de reações de adição e suas principais características. Durante a explicação, os estudantes apresentaram dúvidas quanto a alguns conceitos básicos para o estudo da temática, como ácidos e bases, nomenclatura de compostos orgânicos e tipos de ligações. Diante disso, foi realizada uma revisão geral desses conceitos antes de dar início às atividades que, posteriormente, se desenvolveram conforme planejado.

As discussões que esboçaram os primeiros modelos para as reações foram transcritas e processados pelo IRaMuTeQ, com a qual se obtiveram 300 formas, das quais 236 foram aproveitadas, obtendo 87,50% do total do *corpus*. Após o processamento, foi elaborado um dendrograma das classes (Figura 17).

Figura 17 – Dendograma das classes referentes aos primeiros modelos expressos

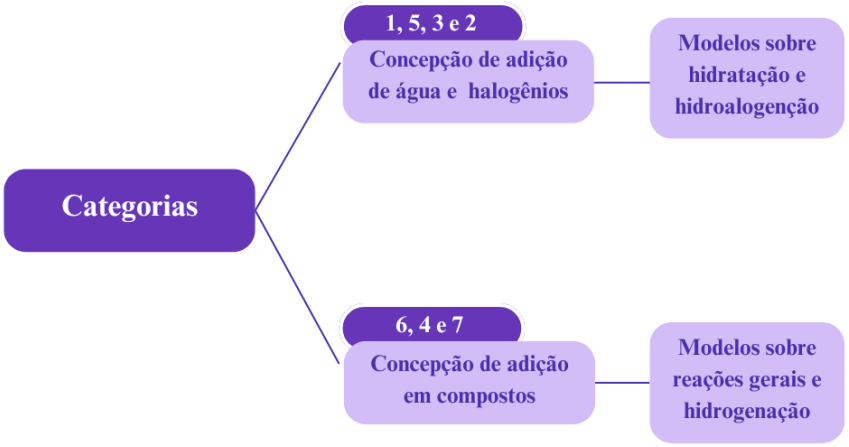


Fonte: Autores (2025)

No dendrograma, observa-se que o *corpus* foi dividido em duas categorias, contendo 7 classes no total: 1ª) Concepções sobre adição de água e halogênios e a 2ª) Concepções sobre adição em compostos orgânicos. Na primeira categoria, obteve-se a classe 1 e 2, tendo a classe 2 dado origem às classes 5 e 3. Com a análise dos segmentos de texto, é possível inferir que todas as classes desta categoria direcionam para explicações sobre hidroalogenação e hidratação, sendo os modelos que mais precisaram ser reformulados ao longo da proposta, o que é evidenciado com a classe 1.

Por sua vez, a segunda categoria se constituiu da classe 6, que originou as classes 4 e 7. Com a leitura das palavras em destaque e de seus segmentos dos textos, observam-se ideias para a hidrogenação a partir de concepções gerais de reações de adição, conforme apresentado na figura 18.

Figura 18 - Esquematização das categorias resultantes da etapa II



Fonte: Autores (2025)

A classe 1 apresentou as palavras “modelo”, “erro” e “ligações” em destaque e esboçou modelos com falhas quanto ao número de ligações entre os átomos, em especial, o carbono, que em vários momentos foi mencionado realizando cinco ligações. As classes 5, 3 e 2 apresentaram respectivamente em destaque os termos “halogênios”, “markovnikov”, “acido” e “água” e apontaram modelos para as reações de hidroalogenação e hidratação, com uma concepção simplificada para ambas. Enquanto as classes 6, 4 e 7 destacaram respectivamente os termos “transformação”, “hidrogênio” e “estabilização” e apresentaram ideias gerais sobre adição e sobre as reações de hidrogenação, sendo os modelos mais coerentes elaborados pelos estudantes.

No modelo direcionado para a hidrogenação, os estudantes apresentaram a ideia de que a molécula poderia voltar a formar uma dupla ligação após a adição dos hidrogênios, erro que, também, destacou falhas quanto ao número de ligações nos compostos. Porém, destaca-se que nesta reação, os átomos de hidrogênio são adicionados ao composto insaturado, produzindo um composto saturado e, com isso, a molécula atinge uma forma saturada e estável (Klein, 2017).

Por sua vez, para a hidroalogenação, o modelo foi fundamentado na regra de Markovnikov, porém, sem muitas explicações sobre a importância do uso de tal regra. E, no que tange à reação de hidratação, houve uma simplificação excessiva com a ideia de “*somente adicionar água*”, sem considerar o papel do catalisador na reação e sem identificar o produto.

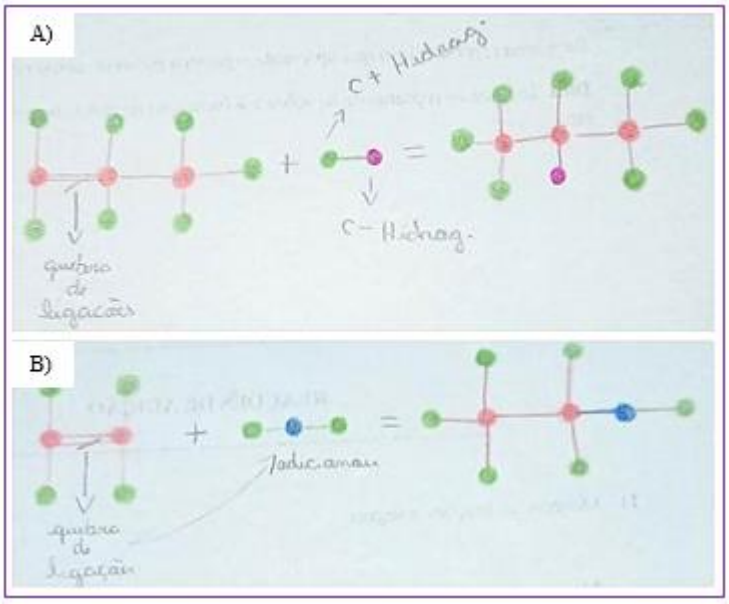
Observa-se demasiada simplificação de conceitos químicos empregados na explicação destas reações. Este ato pode levar os alunos à compreensão errada de conceitos e à limitação do pensamento crítico. Como enfatiza Treagust, Duit e Nieswandt (2018), quando conceitos químicos são compreendidos de forma muito simples, os estudantes tendem a ter dificuldade em desenvolver competências que se relacionam com ideias científicas de maior complexidade.

De acordo com Klein (2017), para que uma reação de hidratação ocorra é necessário um meio ácido (H^+) para promover a associação dos átomos de hidrogênio e oxigênio provenientes da água. Assim, simplificar o conceito da reação desta forma compromete a compreensão da função do ácido como catalisador e da transformação química.

De maneira geral, além das falhas observadas, pode-se destacar uma dificuldade comum nas três subcategorias, que se trata do não entendimento de como iria se adicionar um reagente a outro, quando o número de ligações entre os átomos já estivesse completo. Este entrave pode ser justificado pela carência de compreensão de conceitos básicos, sendo estes necessários para a compreensão das reações, como mencionam os pesquisadores Dood e Watts (2022).

Partindo desse contexto, aspectos como a natureza, tipos e rupturas de ligações em compostos orgânicos foram mediados com os estudantes. Com o desenvolvimento da ideia, os alunos chegaram no entendimento da ocorrência de quebra das ligações duplas ou triplas dos compostos insaturados para a formação de compostos saturados no produto, como apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Amostra de primeiros modelos para as questões abertas
A) modelo para reação de hidroalogenação; B) modelo para reação de hidratação



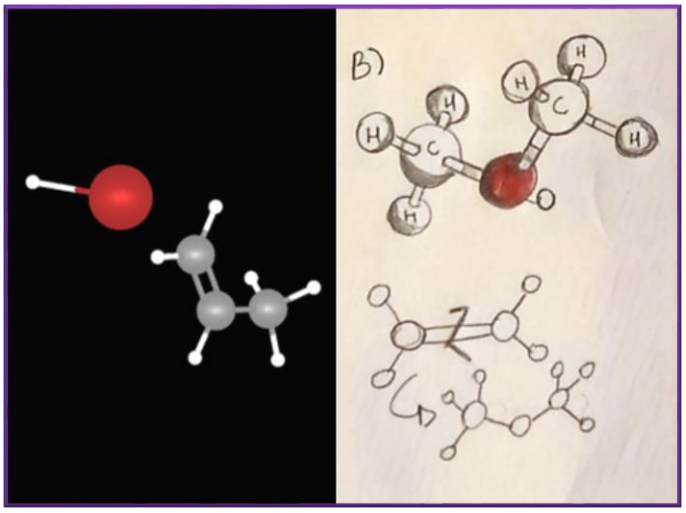
Fonte: Autores (2025)

Contudo, a compreensão de ruptura das ligações pi apresentada pelos alunos veio acompanhada de algumas concepções alternativas mencionadas ainda na etapa I, como a divisão da molécula em fragmentos menores, sem considerar os elétrons e condições específicas, como

catalisadores, por exemplo. Além disso, os primeiros modelos não levaram em consideração a geometria das moléculas.

Dessa forma, esse aspecto foi desenvolvido com o uso do software de estruturação molecular[4] e com as peças modulares. A partir do uso das ferramentas, os modelos puderam ser reformulados novamente levando em consideração, em especial, suas disposições espaciais (Figura 20). Contudo, no ensino médio, o estudo dos ângulos de ligação e sua influência nas reações geralmente não é abordado detalhadamente, o que pode justificar a dificuldade dos estudantes em conseguir explicar qual a influência deste aspecto nas reações. Devido a este fato, procurou-se mediar brevemente esta concepção com eles, buscando sanar essa lacuna.

Figura 20 – Exemplo de modelo reformulado com o uso do software



Fonte: Autores (2025)

Ainda com a utilização do *software* na atividade, os alunos representaram os compostos por meio das peças modulares impressas em 3D com o propósito de refazer o caminho da reação, isto é, explicando seus princípios. Partindo desse contexto, novamente os modelos foram reformulados, desta vez, foi observado que as ligações não são fixas, podendo rotacionar em torno de seus eixos, aspecto que auxiliou no entendimento sobre a geometria das moléculas. No entanto, tiveram dificuldades em representar os haletos de alquila presentes nas reações de hidroalogenação.

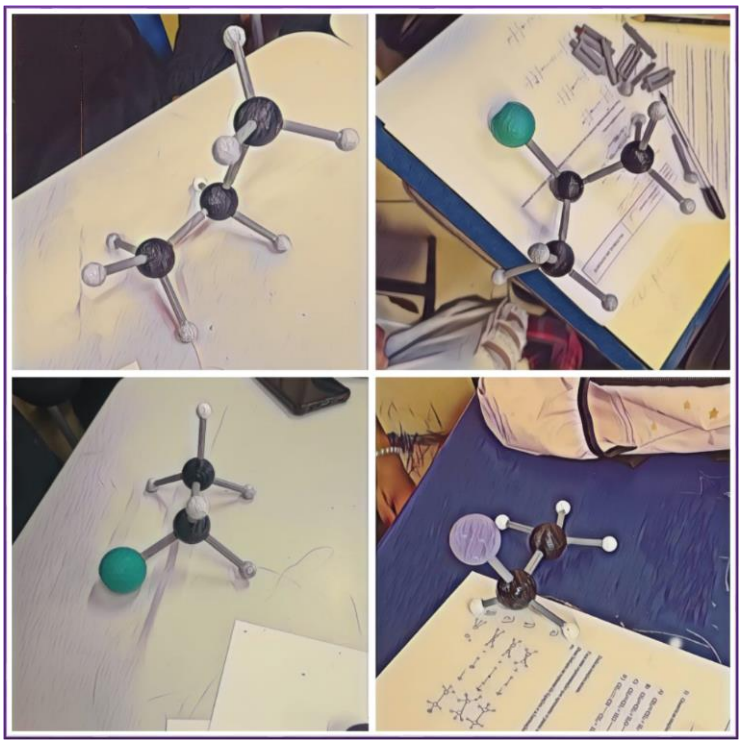
Esta contribuição positiva dos modelos impressos em 3D é enfatizada no estudo de Penny *et al*. (2017), sendo citados para aspectos gerais do ensino de química. Dentre algumas contribuições, ressalta-se como subsídio para uma representação tangível de estruturas, em

[4] *KingDraw*

especial, para uma aprendizagem cinestésica. Visto que a possibilidade dos alunos de manipular e articular os modelos com demais artefatos permite um aprendizado mais abrangente.

Ao manusear as peças e explorar os possíveis (re) arranjos dos compostos (Figura 21), conseguiram descrever melhor sobre os pares de elétrons compartilhados e as ligações. A ideia geral apresentada pelos alunos para as reações de adição propôs que dois compostos se juntem para formar um único produto, sem perder nenhum átomo. Dessa forma, para eles, o que se altera são as ligações e o rearranjo dos átomos por meio da transferência de elétrons entre um composto com "carência" de elétrons e outro "rico" em elétrons.

Figura 21 – Modelos elaborados utilizando as peças modulares

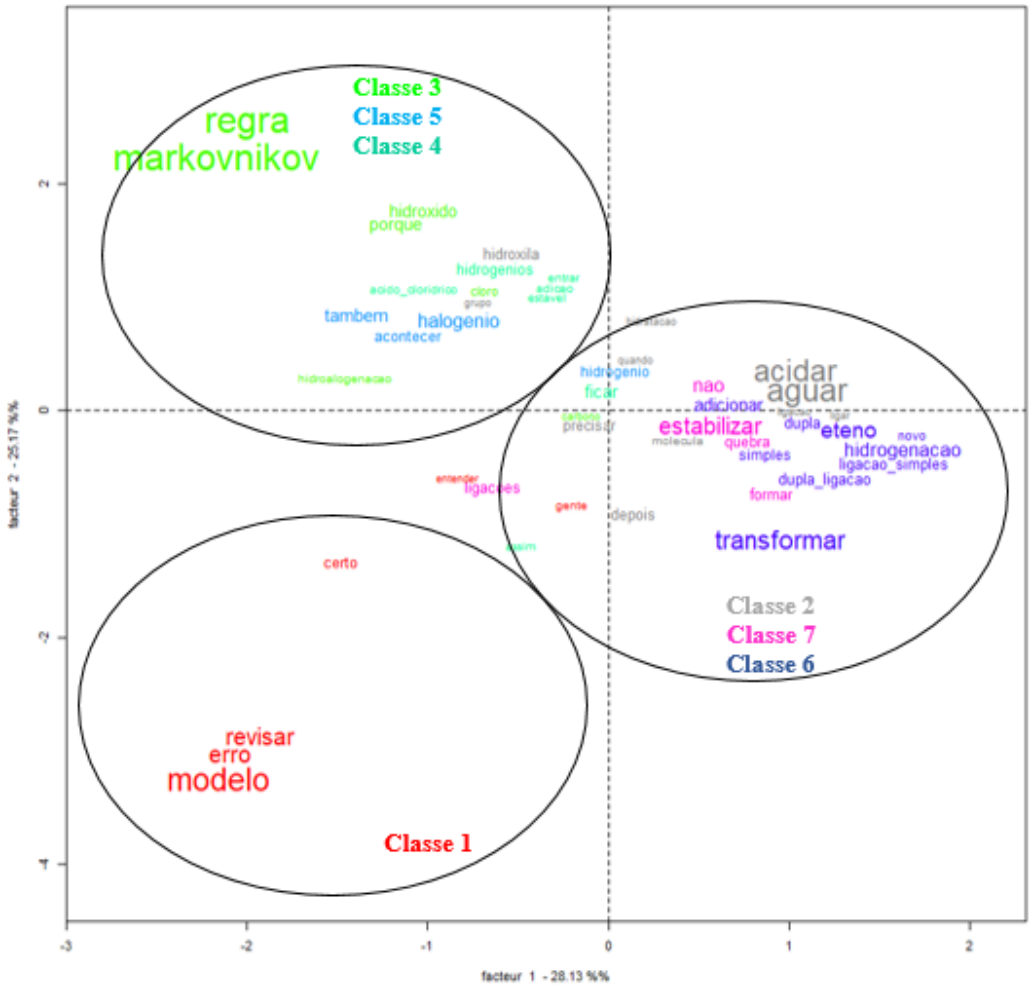


Fonte: Autores (2025)

No terceiro momento desta etapa, com a culminância da reformulação e validação dos modelos, foi possível observar que a articulação das ferramentas utilizadas aliadas à modelagem contribuiu positivamente para a integração dos níveis representacionais propostos por Johnstone (1982). Visto que os estudantes conseguiram conduzir as discussões amparando seus argumentos no que viam (com o uso das peças), no que entendiam (com o uso do software) e representando alguns conceitos de maneira simbólica. Conforme afirmam Gilbert e Justi (2016), a modelagem pode favorecer a construção e validação de argumentos fundamentados em evidências científicas, pois permite a identificação de padrões e variáveis nos fenômenos estudados.

Neste contexto, por meio da representação fatorial (Figura 22), é possível inferir os principais termos utilizados para chegar em modelos validados neste processo. Estes termos se encontram conglomerados no ponto que une os quadrantes, quanto mais próximos dos pontos, mais se enquadram no contexto das discussões; e, quanto mais distante, mais fora de contexto.

Figura 22 – Representação fatorial da discussão de reformulação e validação dos modelos



Fonte: Autores (2025)

O eixo 1 (28,13% da variância) representa o principal fator de diferenciação nas discussões dos estudantes, revelando as ideias mais contrastantes. Nesse caso, a análise gráfica indica uma separação clara entre os termos relacionados à revisão e aos erros nos modelos (Classe 1), que aparecem isolados no quadrante inferior esquerdo, e os termos centrais das reações químicas, como "quebra", "transformar" e "estável", mais próximos ao centro.

O que indica que, no decorrer das discussões, os estudantes não se ativeram a observar revisando os modelos, apenas seguiram com as ideias e a necessidade de reformulação, quando necessário. Fato que não gerou interrupção ou quebra de raciocínio no decorrer do momento. No entanto, é importante destacar que o distanciamento desses termos (“revisar”, “erro” e

“modelo”) pode sugerir que os estudantes não priorizaram a reflexão crítica sobre o processo de validação dos modelos. Isso pode ser um ponto de melhoria em atividades futuras, promovendo momentos específicos para revisão e consolidação.

Além disso, o eixo 1 reflete a polarização entre o entendimento da *regra de Markovnikov* e a aplicação prática dessa regra nos diferentes contextos. A presença destacada do termo "Markovnikov" no quadrante superior esquerdo, em contraste com os termos mais próximos ao centro, sugere que os estudantes tiveram uma compreensão robusta da regra, mas que ela foi discutida de forma separada de outros conceitos principais, como “quebra de ligação” ou “estabilização”, sendo mencionado em alguns momentos outros compostos de forma espontânea, além do que foi solicitado, como o propeno e, uma breve discussão sobre o uso de outros halogênios, sendo citados além do cloro (Cl), o bromo (Br) e iodo (I).

Quando se analisa o conjunto de palavras, é possível observar termos gerais como “ganhar” e “perder” em referência aos elétrons, “estável” e “transformar”, sugerem que os estudantes estavam preocupados em aplicar conceitos fundamentais às reações de adição. A ocorrência destes termos indica aspectos aplicados na elaboração de todos os modelos, independentemente do tipo de reação, enfatizando a concepção geral dos estudantes sobre as reações de adição. Além disso, o uso de "dupla ligação" e "quebra" pode indicar que os alunos estavam atentos aos mecanismos moleculares das reações de adição.

O eixo 2 (25,17% da variância) traz uma visão complementar, trazendo achados científicos sobre como os termos se relacionam no espaço conceitual dos estudantes. Ele reflete uma progressão entre conceitos gerais, como "transformar" e "estabilizar", e discussões mais específicas sobre os mecanismos químicos, como "hidrogenação" e "dupla ligação". Esse eixo indica que, embora os estudantes tenham conseguido conectar conceitos fundamentais às reações Químicas, houve uma separação implícita entre a compreensão dos reagentes que levam aos produtos das reações (quadrante superior esquerdo) e os mecanismos detalhados que os levam a esses produtos (associando a rearranjo de elétrons e quebra de ligações - quadrante superior esquerdo olhar para o termo “Regra Markovnikov").

Essa separação pode ser observada também pela proximidade relativa entre termos como "acidar" e "adicionar" “transformar” (classes 2, 6 e 7) no quadrante inferior direito, que se distanciam do termo "Regra Markovnikov", evidenciando que os alunos não conectaram diretamente a aplicação dessa regra às discussões sobre transformação ou quebra de ligações.

Assim como na análise qualitativa, a fragmentação conceitual observada no gráfico reforça a separação de ideias nas discussões. A explicação de 47,3% da variância pelos dois eixos reforça que esses fatores capturam as tendências principais das discussões dos estudantes. No entanto, mais de 50% da variância permanece associada a outros fatores, indicando que as discussões podem ter abordado elementos não explicitamente representados pelos eixos. Isso sugere a importância de aprofundar as análises qualitativas para explorar os conceitos menos evidentes e compreender como fatores externos ou subtópicos influenciaram as concepções dos estudantes.

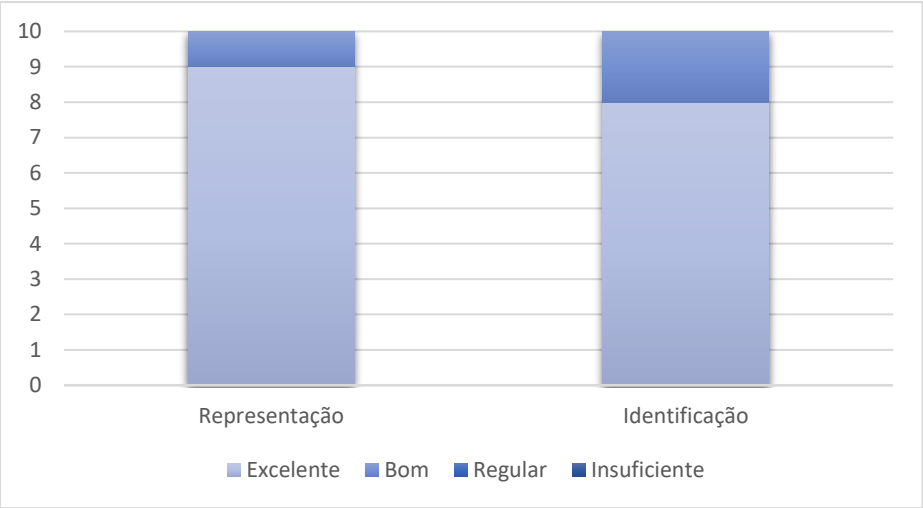
A análise dos eixos expressa uma clara separação entre os termos relacionados à revisão de modelos e os conceitos das reações, indicando uma compreensão fragmentada por parte dos estudantes. Um dos destaques é a abordagem entre a regra de Markovnikov e mecanismos, que sugere que os alunos têm uma boa compreensão da regra, mas a aplicam de forma isolada. Indo de encontro com os dados de Dood e Watts (2022), que destacam a dificuldade dos estudantes em conectar os mecanismos das reações com uma explicação mais detalhada baseada no movimento dos elétrons.

4.3 ETAPA III: AVALIAÇÃO FINAL

Esta etapa foi destinada para a realização da atividade final da intervenção. O objetivo foi avaliar a compreensão conceitual sobre o conteúdo, adquirido no decorrer da proposta. Para isso, usou-se resolução de questões problemas. Assim, o material se constituiu de duas questões, na qual a primeira visou observar a representação e identificação de uma reação de hidrogenação e, a segunda, teve caráter de verdadeiro ou falso e foi direcionada para a análise dos fundamentos de uma reação de hidroalogenção.

As resoluções voltadas para a primeira questão, demonstraram respostas satisfatórias, uma vez que a maioria dos alunos conseguiu identificar o tipo de reação e realizar sua representação demonstrando seus fundamentos. De maneira geral, é possível observar no Gráfico 1, o índice de acertos e erros, em uma escala de 0 a 10, referente ao primeiro problema que solicitava a identificação da reação por meio da nomenclatura do composto e a representação desta de maneira correta.

Gráfico 1 – Quantitativo do problema 1



Fonte: Autores (2025)

Observou-se que os estudantes compreenderam bem que uma hidrogenação ocorre a partir da adição de hidrogênios ao quebrar uma ligação insaturada de um alceno, transformando-o em um alcano. Alguns alunos mencionaram que este seria um tipo de reação exotérmica, uma vez que ligações são quebradas liberando energia, além de mencionarem sobre possíveis interferências de catalisadores no processo.

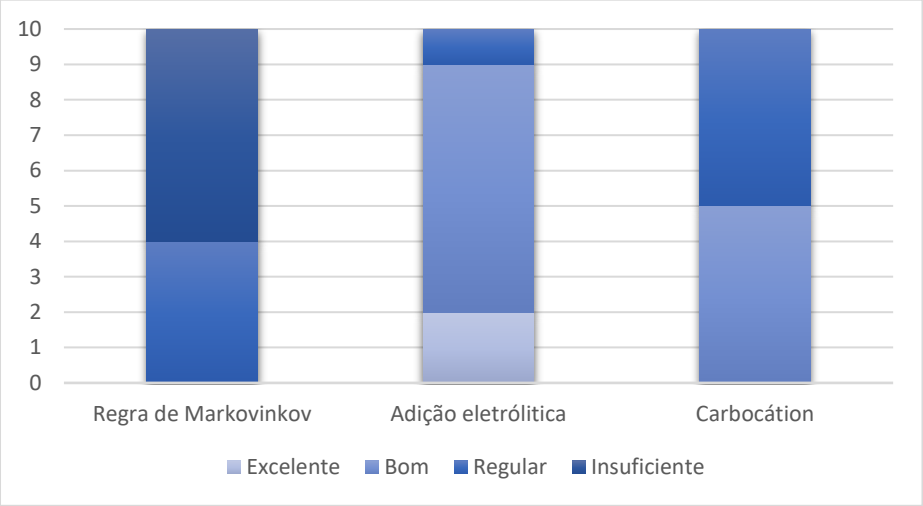
> (...) entendi que a ligação dupla é mais fraca que a ligação simples, então quando ela se quebra é substituída por duas ligações simples com hidrogênios, ou seja, a molécula fica mais estável; (...) a reação libera energia porque as ligações que são formadas no final têm menos energia que a ligação dupla que foi quebra; (...) o catalisador não vira produto na reação. Ele só ajuda a reação a ser mais rápida, mas no final continua o mesmo (**Aluno 27, 16 e 29,** respectivamente).

Essa explicação demonstra uma compreensão significativa dos processos químicos envolvidos, além de apresentar um raciocínio mecanicista é essencial para o aprendizado das reações. Neste contexto, Dood e Watts (2022) destacam que o desenvolvimento desse tipo de raciocínio é um pilar para a aprendizagem do assunto, permitindo que os estudantes articulem conceitos fundamentais. Assim, como os alunos descreveram a hidrogenação sugere que eles estabeleceram algumas relações lógicas entre estabilidade molecular, energia das ligações e a função dos catalisadores.

Contudo, a resolução da segunda questão, voltada para reações de hidroalogenação apresentou algumas lacunas, pois se tiveram explicações vagas. No Gráfico 2, é apresentado o índice de acertos e erros, em uma escala de 0 a 10, referente ao segundo problema, que apresentou questões de verdadeiro ou falso para a ocorrência da regra de Markovnikov, adição eletrolítica e formação de carbocátion em uma reação de adição entre um eteno e ácido

clorídrico. Observa-se que o item sobre a regra de distribuição foi o que apresentou mais erros, seguido do item referente à formação de carbocátion e, por fim, o item sobre a ocorrência de adição eletrolítica.

Gráfico 2 – Quantitativo do problema 2



Fonte: Autores (2025)

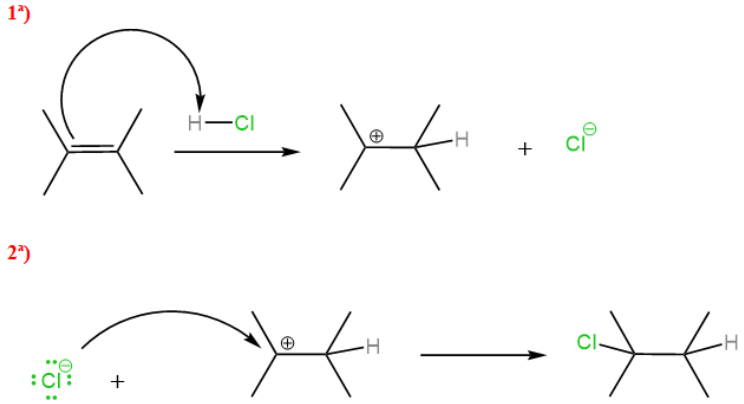
Na elaboração das representações, os alunos utilizaram a regra de Markovnikov, porém, não sabiam explicar o porquê de ela ser ou não usada. Observou-se que muitas menções se fizeram valer da seguinte reposta: "*a regra de Markovnikov é quando o H se junta ao carbono mais hidrogenado, e o halogênio vai para o carbono menos hidrogenado*". Porém, no caso do exemplo usado na questão, a regra não seria aplicada por se tratar de um eteno, ou seja, uma molécula simétrica.

De acordo com Klein (2017), a regra de Markovnikov indica que em uma reação de hidroalogenação, o hidrogênio do H-X, como HCl, se liga ao carbono da dupla ligação que já tem mais hidrogênios, e o halogênio se liga ao carbono menos hidrogenado, devido à formação do carbocátion ser mais estável dessa forma. Uma possível explicação para essas respostas não apresentarem tanta consistência é devido a não abordagem de mecanismos de reações no ensino médio, aspecto importante para entender sobre formação de intermediários estáveis ou não nas reações.

As explicações referentes à formação de carbocátion foram embasadas em concepções alternativas. Os alunos afirmaram que este tipo de reação, "*ocorre uma reequilibração dos positivos e negativos*". No entanto, a ideia de "reequilibração" infere que os íons estão continuamente se ajustando de uma forma equilibrada, fato que não acontece na hidroalogenação. Nesta reação, a formação do carbocátion não envolve um equilíbrio entre

íons, mas sim a criação temporária de uma carga positiva que é então neutralizada pela adição do halogênio (Klein, 2017), conforme demonstra a Figura 23.

Figura 23 – Representação da reação de hidroalogenação do problema 2



Fonte: adaptado de Klein (2017)

Ainda na perspectiva de Klein (2017), a formação de um carbocátion é uma etapa intermediária. Dessa forma, quando o H^+ do halogeneto (HX) ataca a ligação insaturada de um alceno, uma ligação pi é quebrada. Com isso, um dos carbonos recebe o H^+, enquanto o outro fica com uma carga positiva, formando o carbocátion. Ou seja, a carga positiva é localizada em um único átomo de carbono, então não há processo de “reequilíbrio”, pois as cargas se distribuem entre os átomos.

Essa dificuldade dos alunos em aplicar a regra de Markovnikov pode ser explicada pela ausência de uma compreensão sólida sobre os fundamentos das reações, aspecto fundamental para a compreensão das transformações químicas. Sobre essa dificuldade de compreensão, Treagust, Duit e Niewandt (2018) indicam que esse fato pode levar a respostas baseadas em concepções alternativas, como a ideia de "reequilíbrio" mencionada pelos alunos.

5 PRODUTO EDUCACIONAL

5.1 PROCESSO AVALIATIVO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Para ajustar a proposta didática e mitigar possíveis lacunas, foi desenvolvida uma pesquisa exploratória utilizando os métodos de observação participante e estudos pilotos. Para a realização da observação, se utilizou um roteiro (apêndice A) para guiar aspectos que deveriam ser evidenciados e, posteriormente, foram aplicados dois estudos pilotos abordando assuntos da química orgânica no lócus da pesquisa.

Quanto à observação participante, os principais aspectos verificados foram a dinâmica das aulas e processos atitudinais dos discentes frente aos conteúdos trabalhados. Ressalta-se que as observações ocorreram durante três meses em uma turma da terceira série do turno da manhã, contendo 36 alunos.

Inicialmente, foi observado que as aulas apresentavam caráter expositivo-dialogado, tendo como material de apoio material apostilado. Com essa dinâmica, a interação entre aluno e professor era baixa, onde poucas dúvidas eram demonstradas. Visando melhorar esse aspecto, o professor regente passou a utilizar kits moleculares comerciais, o que permitiu uma abordagem mais prática do conteúdo e melhorou significativamente o engajamento dos estudantes, em especial, sobre estruturas atômicas e arranjos moleculares.

Apesar do uso da estratégia, dificuldades relacionadas a lacunas de conhecimentos básicos necessários para estudo da Química Orgânica se fizeram presentes, exigindo retomadas constantes desses conceitos. Tais lacunas, aliadas à abstração inerente à Química, dificultavam o aprendizado. Como aponta Ferreira del Pino (2009), os entraves para o ensino e aprendizagem em Química vão desde a metodologia adotada pelo docente até peculiaridades da própria ciência química, como abstração, nomenclaturas e conceitos de difícil compreensão. Infere-se, também, a possibilidade de imaturidade do aluno de compreender e assimilar tais conceitos.

Após realizada a observação participante, na perspectiva de aperfeiçoar o produto educacional, foram aplicados dois estudos pilotos com as temáticas de funções orgânicas e isomeria espacial, respectivamente. Para o estudo com a temática de funções, foi elaborada uma proposta organizada em 4 etapas, na qual foi possível observar a necessidade de duas melhorias: 1ª) melhor estímulo para a socialização dos modelos entre equipes; 2ª) o tempo de aplicação foi desproporcional em relação ao tempo de aula disponibilizado para as aulas de Química.

Frente a isto, na proposta direcionada para o estudo de isomeria, procurou-se melhorar a etapa de socialização dos modelos com uma discussão entre os pares e equipes, na qual se teve êxito. E, no que tange ao tempo de aula, a segunda proposta foi organizada em 3 etapas, as quais foram suprimidas os momentos de avaliação, considerações das limitações e abrangências dos modelos, sendo estes entremeados no decorrer das outras etapas da proposta. Com estes ajustes, a estrutura do segundo estudo piloto foi considerada adequada para ser utilizada na proposta final do PE.

5.2 DETALHAMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Da pesquisa se originou o Produto Educacional intitulado "Modelando a Química Orgânica: Nova perspectiva para o ensino de reações de adição" (Figura 24), registrado sob ISBN de nº 978-65-85158-51-0 e disponível na plataforma Educapes[5]. O material se caracteriza como um guia didático no formato digital, sendo constituído por uma proposta voltada para o processo de ensino de reações orgânicas de adição, fundamentando-se sua base teórico-metodológica no ensino fundamentado em modelagem aliado à impressão 3D. Assim, tem por finalidade contribuir para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem de reações de hidratação, hidrogenação e hidroalogenação na educação básica.

Figura 24 – Capa e organização do Produto Educacional



Fonte: Autores (2025)

[5] http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/922287

Buscando responder à questão norteadora: “Qual a contribuição de uma proposta didática embasada no ensino fundamentado em modelagem utilizando a tecnologia de impressão 3D, para favorecer a aprendizagem do conteúdo de reações orgânicas de adição para alunos do ensino médio?”, o PE foi aplicado em uma escola estadual, localizada no município de Belém–PA, com uma turma da 3ª série do EM. Assim, o material tem como público-alvo professores de Ciências Naturais e Química atuantes neste nível de ensino.

Em aspectos de inovação, o guia apresenta alto teor, em virtude de ser uma proposta que une o ensino por modelagem, abordagem fundamental para o ensino de Química, com a tecnologia de impressão 3D. Além da proposta, o material apresenta informações consideráveis para o professor compreender, replicar ou adaptar a proposta em questão e elaborar suas próprias representações para serem impressas.

Buscando aumentar a replicabilidade do PE, o material foi aplicado em diferentes contextos. Como lócus de desenvolvimento para esse fim, foram utilizadas duas escolas (estadual e federal) na cidade de Juiz de Fora-MG. Ressalta-se o foco de cada instituição, uma vez que a escola estadual tem como foco o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e a federal tem direcionamento para o Programa de Ingresso Seletivo Misto (PISM), que é um processo seletivo seriado para ingresso no nível superior específico da cidade.

Quanto as aplicações nessas instituições, na escola estadual a proposta foi aplicada em duas turmas matutinas (A — 38 alunos e B — 15 alunos), em ambas se obteve resultados satisfatórios com destaque para a turma B, na qual os alunos conseguiram realizar a etapa de validação dos modelos com maior maestria e interação entre os grupos, devido ao menor número de alunos. Por sua vez, na escola federal, foi aplicada em três turmas (C — 35 alunos, D — 24, E — 30), com resultados, também, satisfatórios em todas. Destaca-se que aqui os alunos conseguiram aprofundar alguns conceitos, como a regra de Kharash (tópico visto somente no ensino superior), dado suas preparações para o PISM.

Dessa forma, dado os resultados obtidos na aplicação do material em diferentes contextos, infere-se que o PE apresenta potencial para ser replicado a partir de alguns ajustes. Tendo em vista algumas lacunas observadas quanto ao desenvolvimento das reações de hidroalogenação, em especial, recomenda-se que a etapa II (expressão e validação dos modelos) seja ampliada com maior tempo de desenvolvimento ou com atividades direcionadas especificamente para essas reações, possibilitando assim, que a proposta tenha maior abrangência para todos os públicos.

Por fim, o guia didático foi organizado em dois capítulos que abordaram desde aspectos metodológicos a tutoriais de modelagem 3D. O primeiro capítulo apresenta conceitos importantes sobre as reações de adição, procedimentos de modelagem e impressão 3D e o referencial metodológico no qual a proposta se ancora. Todos os subcapítulos apresentam materiais complementares, como artigos, livros e vídeos visando subsidiar a prática docente. O segundo capítulo apresenta orientações para a aplicação da proposta de ensino, com detalhamento de cada etapa. E, para facilitar o entendimento do processo de modelagem, foi disponibilizado tutoriais em formato de vídeos, por meio de *QrCode* e *link*, apresentando o fazer de todo o processo com as duas formas de elaboração dos projetos (com e sem base de dados).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa buscou elaborar uma proposta didática baseada no ensino fundamentado em modelagem aliado à impressão 3D, de maneira a favorecer a aprendizagem dos conteúdos de reações orgânicas de adição para alunos do ensino médio. Pode-se afirmar que o objetivo estabelecido foi alcançado, tendo em vista que a proposta desenvolvida apresentou resultados positivos para o ensino de reações de adição, na qual os alunos compreenderam conceitos de maneira progressiva.

A partir das discussões realizadas e das atividades desenvolvidas durante a intervenção, foi possível observar dificuldades conceituais, como o reconhecimento de compostos e ionização, que foram superadas gradualmente com a mediação da docente e a troca entre os alunos. No entanto, a experiência também evidenciou áreas que necessitam de maior atenção, como a compreensão sobre a aplicação da regra de Markovnikov, que se mostrou vaga em alguns aspectos, o que pode ter sido causada por lacunas de conceitos básicos para o estudo do conteúdo. Em vista desse contexto, ressalta-se a importância de futuros estudos que melhor explorem a construção de modelos para a elucidação de conceitos básicos para as reações orgânicas.

Ao analisar a utilização da estratégia de ensino, é possível afirmar que os alunos se envolveram significativamente em todas as etapas do processo, em especial, nos momentos de socialização e discussão de seus modelos nos grupos e entre os grupos. Como resultado, boa margem de alunos conseguiu elaborar, reformular e validar seus modelos de maneira coerente e crítica. Além disso, a utilização do software de modelagem e as peças impressas em 3D possibilitaram que os estudantes representassem de diferentes formas suas ideias, o que favoreceu a percepção de algumas limitações dos modelos, corroborando para o processo de (re) formulação dos modelos.

Conclui-se, portanto, que a proposta didática e os materiais desenvolvidos podem contribuir para a compreensão de conceitos das reações de adição, integrando teoria e prática de maneira interativa. Considerando algumas limitações em sua aplicação, ressalta-se a necessidade de novas investigações sobre a temática e demais conteúdos relacionados a ela, visando ampliar sua contribuição para o ensino.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Leonardo De Conti Dias. **Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências**. 2016. 226f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

ALBANO, Wladimyr Mattos; DELLOU, Cristina Maria. Principais dificuldades apontadas no ensino-aprendizagem de Química para o ensino médio: revisão sistemática. 2023. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/57466. Acesso em: 03 mar. 2025.

ARAGÓN, Lourdes; TENORIO, Natalia Jiménez; MARTINEZ, José María Oliva; MENDEZ, Maria Del Mar Aragon. A modelização no ensino das ciências: critérios de demarcação e estudo de caso. **Revista Científica**, n. 32, p. 193-206, 2018.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: 70 ed, 2016.

BICALHO, Helen; OLIVEIRA, Leandro; JUSTI, Rosária. Processos de Produção de Representações Vivenciados por Estudantes em Contextos de Ensino Fundamentado em Modelagem. **Impacto: pesquisa em ensino de ciências**, n. 1, p. 65, 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

CHERY, Daphney *et al*. Integration of the arts and technology in GK-12 science courses. In: **IEEE Frontiers in Education Conference**. p. 1-4, 2015.

CAMARGO, Brigido Vizeu; JUSTO, Ana Maria. IRAMUTEQ: um software gratuito para análise de dados textuais. **Temas em psicologia**, v. 21, n. 2, p. 513-518, 2013.

CRESWELL, Jhon. Investigação Qualitativa e Projeto de Pesquisa. Porto Alegre: Editora Penso, 2014, 341p.

DAMASCENA, Patrícia Marques; CARVALHO, Christina Vargas; SILVA, Luciana Aparecida. Estratégias Didáticas no Ensino de Química: em foco o uso de paródias. **MultiScience Journal**, v. 1, n. 13, p. 30–38, 2018.

DOOD, Amber; WATTS, Field. Mechanistic reasoning in organic chemistry: a scoping review of how students describe and explain mechanisms in the chemistry education research literature. **Journal of Chemical Education**, v. 99, n. 8, p. 2864-2876, 2022.

ESSWEIN, Andressa. **O desenvolvimento de Edublogs como ferramenta de conscientização socioambiental no ensino de Química**. 2018. 110f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FERREIRA, Maira; DEL PINO, José Cláudio. Estratégias para o ensino de Química Orgânica no nível médio:uma proposta curricular. **Acta Scientiae**, v. 11, n. 1, p. 101-118, 2009.

FORD, Simon; MINSHALL, Tim. Invited review article: where and how 3D printing is used in teachingand education. **Additive Manufacturing**, v. 25, p.131-150, 2019.

FRIEDRICH, Leandro. **Contextualização do biodiesel na aprendizagem de funções orgânicas e reações de transesterificação na disciplina de Química**. 2019. 101f. Dissertação (Mestrado em Química em Rede Nacional). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2019.

GILBERT, John; JUSTI, Rosária. **Modelling-based teaching in science education**. Basel, Switzerland: Springer international publishing, 2016.

HULL, Charles. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. U.S. Patentn. US4575330 A. 1984.

IBRAIM, Stefannie de Sá; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso; JUSTI, Rosária. Contribuições dos Esquemas Argumentativos de Walton para análise de argumentos no contexto do Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 1, p. 159-185, 2013.

JOHNSTONE, Alex. Macro and microchemistry. **The School Science Review**, v. 64, n. 227, p.377379, 1982.

JONES, Oliver; SPENCER, Michelle. A simplified method for the 3D printing of molecular models for chemical education. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 1, p. 88-96, 2018.

KLEIN, David. Química Orgânica: Uma aprendizagem baseada em solução de problemas. 3ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

KLEIN, Sabrina Gabriela; BRAIBANTE, Mara Elisa Fortes; BRAIBANTE, Hugo Tubal Schmitz. Reações de oxi-redução: uma proposta de abordagem em sala de aula. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 468-487, 2020.

KODAMA, H. Automatic method for fabricating a three dimensional plastic model with photohardening polymer. **Review of Scientific Instruments**, v. 52, n. 11, p. 1770-1773, 1981.

LIMA, Adriana. Maria. **Química Orgânica para alunos com deficiância visual:** uma estratégia de aprendizagem combinando uso de modelos 3D e audiodescrição. 2022. 78f. Dissertação (Mestrado em Educação e Ensino de Ciências). Universidade do Estado do Pará, Belém, 2022.

MELO, Bárbara de Lima. **Quimicando:** oficina kit encaixe uma proposta pedagógica para a(o) professora(r) de Química em formação. Universidade Federal do Pará: Núcleo de Inovação em Tecnologias Aplicadas a Ensino e Extensão. 2022. 54p.
MINAYO, Maria Cecilia. **Pesquisa Social**: Teoria, método e criatividade. Rio de Janeiro: EditoraVozes, 2002. 80p.

MENESES, Fábia Maria Gomes de; NUÑEZ, Isauro Beltrán. Erros e dificuldades de aprendizagem de estudantes do ensino médio na interpretação da reação química como um sistema complexo. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 24, p. 175-190, 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. **Revista brasileira de ensino de ciência e tecnologia.** v, 7, n. 2, p. 1-20, 2014.

PARÁ. Secretaria de Estado de Educação do Pará. Documento Curricular do Estado do Pará – Etapa Ensino médio: Volume II. Belém: SEDUC-PA, 2021. 642p.

PARÁ. Secretaria de Estado de Educação do Pará. Documento Curricular do Estado do Pará – Educação Infantil e Ensino Fundamental. Belém: SEDUC-PA, 2019. 455p.

PENNY, Matthew *et al*. Three-dimensional printing of a scalable molecular model and orbital kit for organic chemistry teaching and learning. **Journal of chemical education**, v. 94, n. 9, p. 1265-1271, 2017.

PINHEIRO, Nilcéia Aparecida Maciel. O ensino por meio de temas-geradores: a educação pensada de forma contextualizada, problematizada e interdisciplinar. **Acervo Paulo Freire**, 2013.

PRINCE, Dale. 3D printing: an industrial revolution. **Journal of electronic resources in medical libraries**, v. 11, n. 1, p. 39-45, 2014.

REIS, Pedro. Observação de aulas e avaliação do desempenho docente. Lisboa: Cadernos do CCAP, 2011. Disponível em: http://www.ccap.min-edu.pt/pub.htm. Acesso em: 05 jan. 2025.

ROQUE, Nídia Franca; SILVA, José Luis. A linguagem Química e o ensino da Química Orgânica. **Química nova**, v. 31, p. 921-923, 2008.

SILVA, Waldemar Victor Martins; MAIA, Poliana Flávia. A construção de significados para o fenômeno da dissolução fundamentado pela modelagem. *In*: II Encontro de Ensino de Ciências por Investigação. 2020.

SOUZA, Altamiro Xavier de; CALEFI, Paulo Sérgio; CARVALHO, Gabriel Badagnani; VIANNA, Camila Medeiros; MORAIS, Luís Carlos de; PASQUINI, Daniel; OLIVEIRA, Marcelo Firmino; DUARTE, Leandro Oka. Sulfonação de macromoléculas como tema gerador para construção de uma "Célula Curricular": uma proposta de integração de áreas da Química para o Ensino médio Integrado. **Revista Iluminart**, n. 23, 2025.

SOUZA, Marli Aparecida Rocha; WALL, Marilene Loewen; THULER, Andrea Cristina; LOWEN, Ingrid Margareth; PERES, Ainda Maris. O uso do software IRAMUTEQ na análise de dados em pesquisas qualitativas. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 52, 2018.

STONE, Brian; KAY, Donovan; REYNOLDS, Antony; BROWN, Deana. 3D Printing and Service Learning: Accessible Open Educational Resources for Students with Visual Impairment. **International Journal of Teaching and Learning in Higher Education**, v. 32, n. 2, p. 336-346, 2020.

THABANE, Lehana *et al*. A tutorial on pilot studies: the what, why and how. **Medical Research Methodology**, v. 10, p 1-10, 2010.

TREAGUST, David F.; DUIT, Reinders; NIESWANDT, Martina. Sources of students' difficulties in learning Chemistry. 2018.

TORRES, Maria da Conceição. Uma proposta didática para ensinar os conceitos de reação de saponificação na educação de jovens e adultos. **Studies in Education Sciences**, v. 2, n. 2, p. 51-74, 2021.

YIN, Robert. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. Tradução Cristhian Matheus Herrera - 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ANEXO A- TERMO DE ACEITE DA INSTITUIÇÃO

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ
SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO
ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO TEODORA BENTES Código do INEP 15040569
E-mail: escolateodorabentes@gmail.com

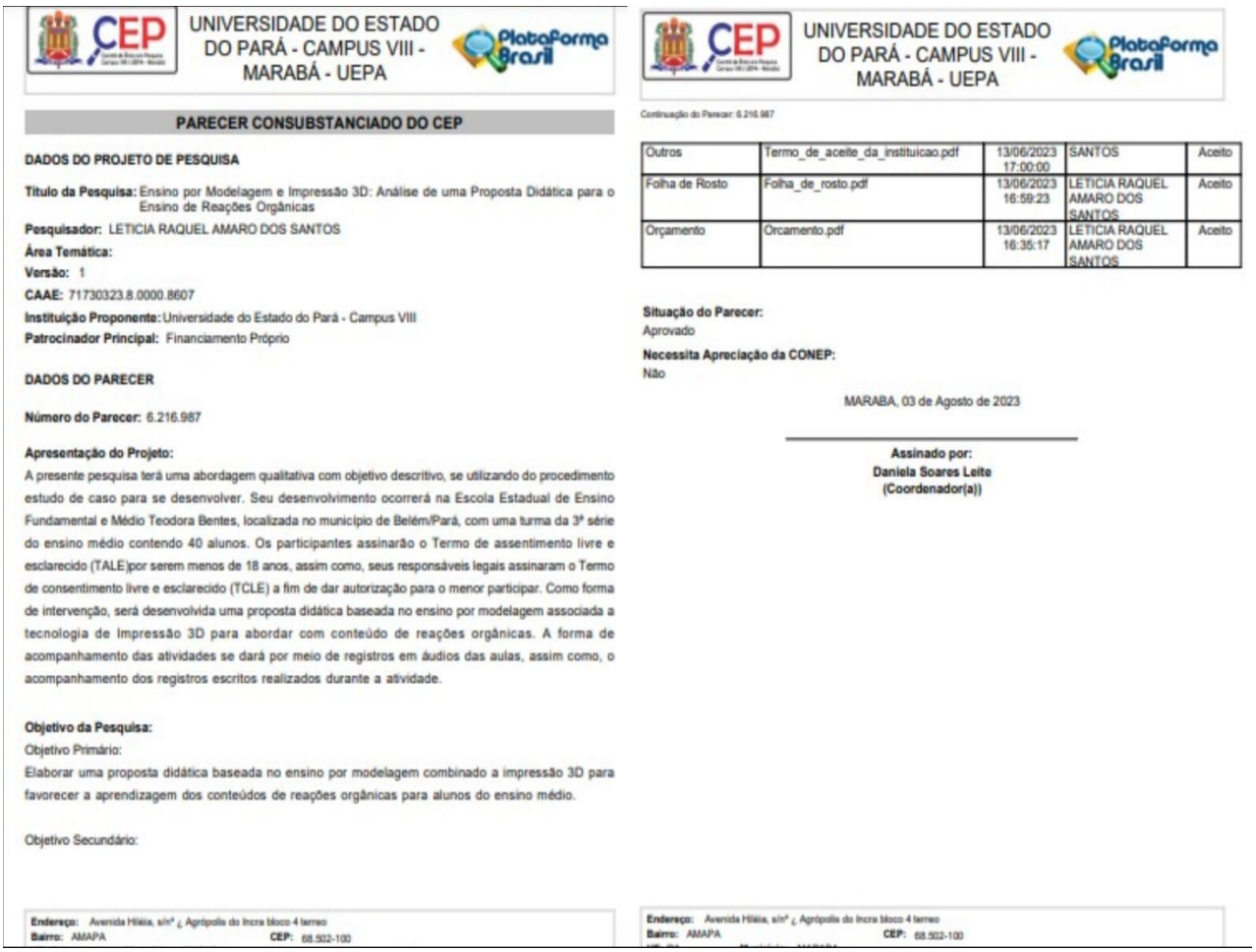
DECLARAÇÃO

Eu, **ALDENORA PENA DA SILVA,** na qualidade de responsável pela E.E.E.F.M TEODORA BENTES**,** declaro que fui informada dos objetivos da pesquisa intitulada "**ENSINO POR MODELAGEM E IMPRESSÃO 3D: ANÁLISE DE UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA ENSINO DE REAÇÕES ORGÂNICAS**" a ser conduzida sob a responsabilidade da pesquisadora LETICIA RAQUEL AMARO DOS SANTOS e seu orientador RONILSON FREITAS DE SOUZA, vinculados ao Programa de Pós Graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia da Universidade do Estado do Pará (UEPA), e autorizo a realização das atividades da referida pesquisa nesta instituição de ensino.

Aldenora Pena da Silva
Aldenora Pena da Silva
Vice-Diretora/SEDUC
Port. 4519/2020

Belém, 25 de Maio de 2023

ANEXO B – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ - CAMPUS VIII - MARABÁ - UEPA

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Ensino por Modelagem e Impressão 3D: Análise de uma Proposta Didática para o Ensino de Reações Orgânicas

Pesquisador: LETICIA RAQUEL AMARO DOS SANTOS

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 71730323.8.0000.8607

Instituição Proponente: Universidade do Estado do Pará - Campus VIII

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.216.987

Apresentação do Projeto:

A presente pesquisa terá uma abordagem qualitativa com objetivo descritivo, se utilizando do procedimento estudo de caso para se desenvolver. Seu desenvolvimento ocorrerá na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Teodora Bentes, localizada no município de Belém/Pará, com uma turma da 3ª série do ensino médio contendo 40 alunos. Os participantes assinarão o Termo de assentimento livre e esclarecido (TALE)por serem menos de 18 anos, assim como, seus responsáveis legais assinaram o Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) a fim de dar autorização para o menor participar. Como forma de intervenção, será desenvolvida uma proposta didática baseada no ensino por modelagem associada a tecnologia de Impressão 3D para abordar com conteúdo de reações orgânicas. A forma de acompanhamento das atividades se dará por meio de registros em áudios das aulas, assim como, o acompanhamento dos registros escritos realizados durante a atividade.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Elaborar uma proposta didática baseada no ensino por modelagem combinado a impressão 3D para favorecer a aprendizagem dos conteúdos de reações orgânicas para alunos do ensino médio.

Objetivo Secundário:

Endereço: Avenida Hiléia, s/nº ¿ Agrópolis do Incra bloco 4 terreo
Bairro: AMAPA **CEP:** 68.502-100

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ - CAMPUS VIII - MARABÁ - UEPA

Continuação do Parecer: 6.216.987

Outros	Termo_de_aceite_da_instituicao.pdf	13/06/2023 17:00:00	SANTOS	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.pdf	13/06/2023 16:59:23	LETICIA RAQUEL AMARO DOS SANTOS	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	13/06/2023 16:35:17	LETICIA RAQUEL AMARO DOS SANTOS	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

MARABA, 03 de Agosto de 2023

Assinado por:
Daniela Soares Leite
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Hiléia, s/nº ¿ Agrópolis do Incra bloco 4 terreo
Bairro: AMAPA **CEP:** 68.502-100

ANEXO C – TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE)

Você está sendo convidado a participar da pesquisa **"Ensino por Modelagem e Impressão 3D: Análise de uma Proposta Didática para o Ensino de Reações Orgânicas",** sendo a pesquisadora responsável Leticia Raquel Amaro dos Santos, com contato (91) 98742-9880. O objetivo da presente pesquisa é elaborar uma proposta didática baseada no ensino por modelagem combinado com impressão 3D para favorecer a aprendizagem dos conteúdos de Reações Orgânicas. Para isso, pretende-se investigar o panorama sobre o processo de aprendizagem e das dificuldades dos alunos acerca de conteúdos sobre Reações Orgânicas, além de desenvolver e aplicar situações de ensino e aprendizagem de reações orgânicas combinando o ensino por modelagem e impressão tridimensional, avaliar a contribuição da proposta didática para a aprendizagem dos estudantes sobre o conteúdo proposto e, por fim, elaborar um produto educacional em formato de guia didático, para facilitar o processo de ensino e aprendizagem das Reações Orgânicas. Você participará da pesquisa somente se quiser, sendo este um direito seu. Não vindo a ter nenhum problema ou prejuízo caso você venha desistir.

A pesquisa será realizada na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Teodora Bentes. Os adolescentes que irão participar desta pesquisa têm idade de 15 a 18 anos. Estes participarão das etapas da proposta didática envolvendo a temática das "Reações Orgânicas". Como instrumentos para coleta de dados, serão utilizados questionários, registros escritos das atividades, áudios e observação das demais atividades em sala.

A pesquisa se desenvolverá por meio de uma intervenção, organizada em quatro etapas**: 1ª etapa)** Esta etapa terá o objetivo de proporcionar experiências com o alvo a ser estudado, ou seja, a temática "reações orgânicas". Para isso, será utilizado texto de apoio e questão norteadora abordando reações presentes no cotidiano dos alunos a fim de direcionar discussões e elaborações de modelos mentais acerca da temática; **2ª etapa)** nesta etapa, serão abordadas as reações orgânicas de adição. Serão trabalhadas questões abertas sobre as reações de hidrogenação, hidratação e hidroalogenação, e deverão expressar e validar os modelos mentais por meio de software de estruturação molecular. Como momento final da etapa, as moléculas modeladas deverão ser impressas em 3 (três) dimensões e socializadas; **3ª etapa)** esta etapa será destinada para a realização da avaliação final. O objetivo será de avaliar a compreensão conceitual sobre o conteúdo após o desenvolvimento da proposta didática. Para isso, se utilizará questões adaptadas de vestibulares que abordam as reações de adição.

Os benefícios desta pesquisa se atem na expectativa de desenvolvimento de habilidades para a aprendizagem da temática e seus variados aspectos. No que se trata dos riscos oferecidos pela mesma, participar desta pesquisa não oferece riscos físicos ou psicológicos previsíveis. Em

caso de desconforto ou qualquer incomodo pelo teor da pesquisa, você poderá solicitar sua exclusão e/ou interrupção no processo.

As etapas do projeto são seguras, no entanto, em caso de desconforto de qualquer espécie, você pode procurar a pesquisadora responsável através do telefone (91) 98742-9880 disposto no início deste termo, ou pelo E-mail: *leticia.radsantos@aluno.uepa.br*. Em caso de demais dúvidas, recursos ou reclamações em relação ao presente estudo, você ainda poderá contatar a Secretaria da Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, localizada nas dependências do bloco IV, no térreo, sala 01 da UEPA Campus Marabá - Avenida Hiléia, s/nº – Agrópolis do Incra – Bairro Amapá, por meio do Fone (94) 3312-2103 ou por e-mail: *cepmaraba@uepa.br*, nos dias de segunda-feira a sexta-feira no horário de 7:30h ás 13:30h.

Sua participação na pesquisa é sigilosa e sua identidade não será revelada. Dessa forma, sua identidade será preservada e resguardada. Não disponibilizaremos a terceiras informações que você vier fornecer, com os resultados da pesquisa podendo ser publicados em artigos científicos, mas sem identificar os participantes.

Diante do exposto, Eu aceito participar da pesquisa **"Ensino por Modelagem e Impressão 3D: Análise de uma Proposta Didática para o Ensino de Reações Orgânicas".** Entendendo os possíveis aspectos positivos e negativos que podem vir a apresentar-se. E Entendendo que posso dizer "sim" e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer "não" e desistir, tais atitudes não gerarão desconfortos para mim. Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis. Recebi uma cópia deste termo de assentimento e li e concordo em participar da pesquisa.

Belém, _____de_____, 2025.

_____	_____
Assinatura do menor	Assinatura do pesquisador responsável

ANEXO D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(Responsável legal pelo menor de idade)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

ESTUDO: "Ensino por Modelagem e Impressão 3D: Análise de uma proposta didática para o ensino de Reações Orgânicas"

Seu/Sua filho/a está sendo convidado a participar do presente estudo. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos realizando, por isso, leia atentamente. Caso tenha dúvidas, teremos prazer em esclarecê-las. Se concordar, o documento será assinado e só então daremos início ao estudo. Sua colaboração será muito importante para nós. Mas, em caso de desistência, isto não causará nenhum prejuízo, nem a você, nem a seu/sua filho/a. A seguir estão descritos alguns critérios adotados para participação e exclusão neste estudo:

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO PARA A PESQUISA

i) ser aluno (a) matriculado (a) na 3ª série do ensino médio; ii) ser professor responsável pela turma selecionada. iii) Em situação de presença de alunos com necessidades educacionais especiais, este deve estar acompanhado pelo professor responsável pelo Atendimento Educacional especializado (AEE), visando aumentar seus suportes pedagógicos no decorrer das atividades.

CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO PARA A PESQUISA

i) Não apresentação da assinatura do TCLE pelo devido responsável legal; ii) Não apresentação da assinatura do TALE. Ressalta-se que estes critérios serão adotados como compromisso dos pesquisadores com aspectos éticos da pesquisa.

Para a pesquisa, será elaborada uma proposta didática com etapas de aulas expositivas dialogadas e experimentos utilizando a impressão 3D como suporte. Ressaltamos que você ou seu/sua filho/a não receberão nada para participar deste estudo. A participação neste estudo não tem objetivo de tratamento e será sem custo algum para você.

1ª etapa) Esta etapa terá o objetivo de proporcionar experiências com o alvo a ser estudado, ou seja, a temática "reações orgânicas". Para isso, será utilizado texto de apoio e questão norteadora abordando reações presentes no cotidiano dos alunos a fim de direcionar discussões e elaborações de modelos mentais acerca da temática;

2ª etapa) Nesta etapa, serão abordadas as reações orgânicas de adição. Serão trabalhada questões abertas sobre as reações de hidrogenação, hidratação e hidroalogenação, e deverão expressar e validar os modelos mentais por meio de software de estruturação molecular. Como momento final da etapa, as moléculas modeladas deverão ser impressas em 3 (três) dimensões e socializadas;

3ª etapa) Esta etapa será destinada para a realização da avaliação final. O objetivo será de avaliar a compreensão conceitual sobre o conteúdo após o desenvolvimento da proposta didática. Para isso, se utilizará questões adaptadas de vestibulares que abordam as reações de adição.

Participar desta pesquisa não oferece riscos físicos ou psicológicos previsíveis. Em caso de desconforto ou qualquer incomodo pelo teor da pesquisa, você poderá solicitar sua exclusão

e/ou interrupção no processo. Em caso de danos diretamente decorrentes da pesquisa, o (a) participante receberá assistência integral e imediata, de forma gratuita, pelo tempo que for necessário e avaliado por profissional competente. Ainda, caso seja necessário, o participante poderá requerer indenização por eventuais danos decorrentes da participação no estudo. Você tem a liberdade de desistir ou interromper a colaboração neste estudo no momento em que desejar, sem necessidade de dar qualquer explicação, dessa forma, a desistência não lhe causará nenhum prejuízo, nem a seu/sua filho (a).

Todas as informações deste estudo são confidenciais. Seu nome e de seu filho (a) ou qualquer dado que possam identificá-los não serão publicados na divulgação dos resultados. Pessoas que não fazem parte da equipe da pesquisa, não poderão ter acesso aos seus registros. Sendo o acesso restrito somente aos pesquisadores envolvidos. Esse acesso será utilizado para realizar, acompanhar a pesquisa e analisar os dados obtidos. Também haverá retenção de dados para estudos futuros. As normas brasileiras que o protegem serão respeitadas. Caso deseje, poderá tomar conhecimento dos resultados.

As etapas do projeto são seguras, no entanto, em caso de desconforto de qualquer espécie, você pode procurar a pesquisadora responsável através do telefone (91) 98742-9880 disposto no início deste termo, ou pelo E-mail: *leticia.radsantos@aluno.uepa.br*. Em caso de demais dúvidas, recursos ou reclamações em relação ao presente estudo, você ainda poderá contatar a Secretaria da Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, localizada nas dependências do bloco IV, no térreo, sala 01 da Universidade do Estado do Pará, Campus Marabá - Avenida Hiléia, s/nº – Agrópolis do Incra – Bairro Amapá, por meio do Fone (94) 3312-2103 ou por e-mail: *cepmaraba@uepa.br*, nos dias de segunda-feira a sexta-feira no horário de 7:30h ás 13:30h.

Diante do exposto,

Eu,_____, portador (a) do RG_____, concordo de livre e espontânea vontade que meu filho/minha filha _____ nascido/a em _____ / _____ /_____, seja participante do estudo "**Ensino por Modelagem e Impressão 3D: Análise de uma proposta didática para o ensino de Reações Orgânicas"**. Declaro que obtive todas as informações necessárias e que todas as minhas dúvidas foram esclarecidas.

Este convite está de acordo com a Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012.

Belém, _____de_____, 2025.

_____ Assinatura do responsável

_____ Assinatura do pesquisador responsável

ANEXO E – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(De acordo com as Resoluções nº 466 de 2012 e nº 510 de 2016)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado (a) como voluntário (a) a participar da pesquisa: **"Ensino por Modelagem e Impressão 3D: Análise de uma proposta didática para o ensino de Reações Orgânicas".** O motivo que nos leva a realizar esta pesquisa se dá a partir da observação da dificuldade apresentada no processo de ensino e aprendizagem da Química Orgânica, em especial, o ensino de reações orgânicas. Sendo esta, justificada pela necessidade de se trabalhar com representações integralmente abstratas de estruturas moleculares e variados mecanismos de reações que necessitam de uma capacidade de transitoriedade entre os níveis de representação. Com isso, se propõe elaborar uma proposta didática baseada no ensino por modelagem utilizando impressão 3D para abordar os conteúdos de reações orgânicas, visando explorar a criação e validação de modelos mentais, e por meio da tecnologia de impressão tridimensional, dá a oportunidade de estudar as estruturas moleculares de forma concreta e tangível.

A pesquisa se desenvolverá por meio de uma intervenção, organizada em quatro etapas**: 1ª etapa)** Esta etapa terá o objetivo de proporcionar experiências com o alvo a ser estudado, ou seja, a temática "reações orgânicas". Para isso, será utilizado texto de apoio e questão norteadora abordando reações presentes no cotidiano dos alunos a fim de direcionar discussões e elaborações de modelos mentais acerca da temática; **2ª etapa)** nesta etapa, serão abordadas as reações orgânicas de adição. Os alunos trabalharam com questões abertas sobre as reações de hidrogenação, hidratação e hidroalogenação, e deverão expressar e validar os modelos mentais por meio de software de estruturação molecular. Como momento final da etapa, as moléculas modeladas deverão ser impressas em 3 (três) dimensões e socializadas; **3ª etapa)** esta etapa será destinada para a realização da avaliação final. O objetivo será de avaliar a compreensão conceitual sobre o conteúdo após o desenvolvimento da proposta didática. Para isso, se utilizará questões adaptadas de vestibulares que abordam as reações de adição.

Para a coleta de dados serão realizados registros em áudio das etapas da pesquisa, assim como, registros das atividades elaboradas no desenvolvimento das atividades. Diante disso, ressaltamos que possíveis riscos de desconforto e danos quanto participação da pesquisa serão minimizados pela preparação cautelosa das estratégias de elaboração de conteúdo e modo de aplicação dos instrumentos de coleta de dados, bem como, que o uso de áudio será reservado estritamente para os fins desta pesquisa e será mantido em total sigilo, assim como sua identidade. Vale ainda ressaltar que as descobertas deste projeto poderão contribuir para a formação não somente dos sujeitos desta pesquisa, mas também de outros estudantes da educação básica, tendo em vista que os produtos/processos desenvolvidos serão difundidos na comunidade técnico-científica e poderão ser utilizados em outros ambientes escolares. No

entanto, vale dizer que você não será identificado (a) em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo.

Os participantes terão acompanhamento irrestrito da pesquisadora responsável, em caso de questionamentos quanto ao problema pesquisado. Em caso de problemas de saúde causados pela pesquisa, estes serão acompanhados e encaminhados para tratamento adequado em comum acordo com pesquisador/participante.

Por fim, ressaltamos que você é livre para recusar-se a participar, retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária (sem compensação financeira) e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou perda de benefícios. A participação no estudo não acarretará custos para você e será custeada pela pesquisadora responsável.

Uma cópia deste consentimento será arquivada no Curso Programa de Pós-Graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia da Universidade do Estado do Pará, campus VIII, e outra será fornecida a você.

Eu,_____fui informado (a) dos objetivos da pesquisa acima de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que em qualquer momento poderei solicitar novas informações e motivar minha decisão se assim o desejar. A pesquisadora certificou-me que todos os dados desta pesquisa serão confidenciais. Também sei que caso existam gastos adicionais, estes serão absorvidos pelo orçamento da pesquisa. Em caso de dúvidas poderei contatar a pesquisadora Leticia Raquel Amaro dos Santos no telefone (91) 98742-9880 ou pelo e-mail: leticia.radsantos@aluno.uepa.br ou o Comitê de Ética em Pesquisa em seres humanos, localizado nas dependências do bloco IV, no térreo, sala 01 da Universidade do Estado do Pará, Campus Marabá - Avenida Hiléia, s/nº – Agrópolis do Incra – Bairro Amapá, por meio do Fone (94) 3312-2103 ou por e-mail: *cepmaraba@uepa.br,* nos dias de segunda-feira a sexta-feira no horário de 7:30h ás 13:30h.

Declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Assinatura do Participante: _____

Assinatura do Pesquisador responsável: _____

Assinatura do Professor Orientador: _____

ANEXO F - TERMO DE COMPROMISSO PARA UTILIZAÇÃO E MANUSEIO DE DADOS

TERMO DE COMPROMISSO PARA UTILIZAÇÃO E MANUSEIO DE DADOS (TCUD)

Nós, Leticia Raquel Amaro dos Santos e Ronilson Freitas de Souza, vinculados a Universidade do Estado do Pará, pesquisadores do projeto de pesquisa intitulado **"Ensino por Modelagem e Impressão 3D: Análise de uma Proposta Didática para o Ensino de Reações Orgânicas"** declaramos, para os devidos fins, conhecer e cumprir as Resoluções Éticas Brasileiras, em especial a Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

Comprometemo-nos com a utilização das informações contidas nos instrumentos de coleta de dados (atividades e registros áudio visuais) da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Teodora Bentes que serão manuseados somente após receber a aprovação do sistema CEP-CONEP e da instituição detentora.

Comprometemo-nos a manter a confidencialidade e sigilo dos dados contidos nos questionários e registros em áudio, bem como a privacidade de seus conteúdos, mantendo a integridade moral e a privacidade dos indivíduos que terão suas informações acessadas. Não repassaremos os dados coletados ou o banco de dados em sua íntegra, ou parte dele, a pessoas não envolvidas na equipe da pesquisa.

Também nos comprometemos com a guarda, cuidado e utilização das informações apenas para cumprimento dos objetivos previstos nesta pesquisa aqui referida. Qualquer outra pesquisa, em que necessitamos coletar informações, será submetida para apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa. Os dados obtidos no decorrer da pesquisa serão guardados de forma sigilosa, segura, confidencial e privada, por 5 (cinco) anos, e depois serão destruídos.

Ao publicar os resultados da pesquisa, manteremos o anonimato das pessoas cujos dados foram pesquisados, bem como o anonimato da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Teodora Bentes.

Belém, 31 de maio de 2023.

Ronilson Freitas de Souza

Prof. Dr. Ronilson F. de Souza
DCNA / CAMPUS XIX / UEPA
Matr. 57195955-3

Letícia R. Amaro dos Santos

Leticia P. Amaro dos Santos
PPGEECA / UEPA
2023101385

ANEXO G – DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DO PESQUISADOR A

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ/CAMPUS VIII
COMITÉ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES HUMANOS- CEP MARABÁ

Declaração de Compromisso do Pesquisador A

Eu, Leticia Raquel Amaro dos Santos, portadora do RG 7973589 e CPF 043.094.402-07 pesquisadora responsável do projeto de pesquisa intitulado **"Ensino por Modelagem e Impressão 3D: Análise de uma Proposta Didática para o Ensino de Reações Orgânicas"** comprometo-me a utilizar todos os dados coletados, unicamente, para o projeto acima mencionado, bem como:

- Garantir que a pesquisa somente será iniciada após a avaliação e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade do Estado do Pará, Campus VIII/Marabá, respeitando assim, os preceitos éticos e legais exigidos pelas Resoluções vigentes, em especial a 466/12 do Conselho Nacional de Saúde do Ministério da Saúde;
- Desenvolver o projeto de pesquisa conforme delineado;
- Apresentar dados solicitados pelo CEP-Marabá ou pela CONEP a qualquer momento;
- Preservar o sigilo e a privacidade dos participantes cujos dados serão coletados e estudados;
- Assegurar que os dados coletados serão utilizados, única e exclusivamente, para a execução do projeto de pesquisa em questão;
- Assegurar que os resultados da pesquisa somente serão divulgados de forma anônima;
- Encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico integrante do projeto;
- Justificar fundamentadamente, perante o CEP-Marabá ou a CONEP, a interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.
- Elaborar e apresentar os relatórios parciais e final ao CEP-Marabá;
- Manter os dados da pesquisa em arquivo, físico e digital, sob minha guarda e responsabilidade, por um período de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa.

Belém, 31 de maio de 2023.

Leticia R. Amaro dos Santos
PPGEECA / UEPA
2023101385

ASSINATURA DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL

ANEXO H - DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DO PESQUISADOR B

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ/CAMPUS VIII
COMITÉ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES HUMANOS- CEP MARABÁ

Declaração de Compromisso do Pesquisador B

Eu, Ronilson Freitas de Souza, portador do RG 4830429 e CPF 767354002-91, pesquisador responsável do projeto de pesquisa intitulado **"Ensino por Modelagem e Impressão 3D: Análise de uma Proposta Didática para o Ensino de Reações Orgânicas"** comprometo-me a utilizar todos os dados coletados, unicamente, para o projeto acima mencionado, bem como:

- Garantir que a pesquisa somente será iniciada após a avaliação e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade do Estado do Pará, Campus VIII/Marabá, respeitando assim, os preceitos éticos e legais exigidos pelas Resoluções vigentes, em especial a 466/12 do Conselho Nacional de Saúde do Ministério da Saúde;
- Desenvolver o projeto de pesquisa conforme delineado;
- Apresentar dados solicitados pelo CEP-Marabá ou pela CONEP a qualquer momento;
- Preservar o sigilo e a privacidade dos participantes cujos dados serão coletados e estudados;
- Assegurar que os dados coletados serão utilizados, única e exclusivamente, para a execução do projeto de pesquisa em questão;
- Assegurar que os resultados da pesquisa somente serão divulgados de forma anônima;
- Encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico integrante do projeto;
- Justificar fundamentadamente, perante o CEP-Marabá ou a CONEP, a interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.
- Elaborar e apresentar os relatórios parciais e final ao CEP-Marabá;
- Manter os dados da pesquisa em arquivo, físico e digital, sob minha guarda e responsabilidade, por um período de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa.

Belém, 31 de maio de 2023

Prof. Dr. Ronilson F. de Souza
DCNA / CAMPUS XIX / UEPA
Matr. 57195955-3

ASSINATURA DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL

APÊNDICE A – ROTEIRO PARA OBSERVAÇÃO PARTICIPANTE (OP)

Eixos de investigação: metodologia de ensino, possíveis lacunas e dificuldades de aprendizagem, possíveis potencialidades no processo de ensino e de aprendizagem

Característica da OP: Estruturada, participante, individual, contexto real de sala de aula.
Local: E. E. E. F. M. Teodora Bentes

ESPAÇO A SER OBSERVADO:

- Sala de aula – local no qual os estudantes e educador desenvolvem suas atividades escolares.

ORIENTAÇÕES PARA A OBSERVAÇÃO:

- Horário: pelo turno da manhã durante as aulas de Química;
- Chegar 10 minutos antes do início das aulas;
- Observar as aulas de forma integral, até a saída os estudantes e professor.

REALIZAÇÃO DA OBSERVAÇÃO

- Observar o ambiente (descrever o espaço físico, localização e outras questões importantes);
- Observar alterações no ambiente e suas relações no comportamento dos estudantes;
- Observar os participantes da pesquisa, levando em consideração a relação professor - alunos, aluno – aluno, aluno – professor.
- Observar as linguagens não verbais (expressão facial e aspectos comportamentais).
- Observar a dinâmica das aulas (metodologia adotada pelo educador);
- Observar o interesse e motivação dos alunos pelas aulas;
- Observar o comprometimento dos alunos com sua própria aprendizagem.
- Anotar diálogos;
- Anotar percepções da pesquisadora.

FINALIZAÇÃO DA OBSERVAÇÃO

Ao notar que os fatos cotidianos do espaço escolar começam a se repetir e que já possui elementos suficientes para a próxima etapa da pesquisa. Isto é, a saturação dos dados da coleta da pesquisa e a inexistência de fatos novos e agregadores para a temática pesquisada.

APÊNDICE B – QUESTÃO NORTEADORA PARA A ETAPA 1

Ensino médio – 3ª Série **Componente Curricular**: Química	**MATERIAL DE SUPORTE**

As reações orgânicas fazem parte do nosso dia a dia?

Vamos conversar sobre algo que está mais perto de nós do que imaginamos: as reações orgânicas. Para tornar isso mais claro, vamos falar sobre um componente utilizado na fórmula do vinagre, **o ácido acético.**

O ácido acético é o "chef" por trás do vinagre, dando aquele toque especial aos nossos alimentos. Esse ácido é frequentemente produzido a partir do **álcool etílico (C_2H_60)**, que encontramos em bebidas alcoólicas e na fermentação de frutas.

A mágica começa quando o álcool etílico passa por uma reação orgânica conhecida como fermentação. Bactérias especiais convertem o álcool em **ácido acético (CH_3COOH),** transformando nosso vinho, cidra ou suco em vinagre.

É neste processo, em que as moléculas precisam colidir da maneira certa, ter energia suficiente e se encontrarem com frequência para criar o nosso produto. O ácido acético resultante representa cerca de 4% da composição do vinagre, no entanto, é o que proporciona aquele sabor azedinho que adoramos em saladas e molhos.

Para além de servir como tempero para saladas e molhos, o vinagre pode ser utilizado para minimizar ou até mesmo acabar com fortes odores. Isso porque, quando o **ácido acético** presente no vinagre ao entrar em contato com **substâncias básicas**, como **compostos nitrogenados** que estão presente no odor do peixe podre, por exemplo, gera uma reação de neutralização.

Portanto, em situações do dia a dia, é possível eliminar o odor de peixe, gordura desagradável e o cheiro e sabor rançoso do frango lavando as mãos com vinagre, seguido de enxágue com água.

I) Após a leitura do texto, com base nos seus conhecimentos, faça uma representação de como você imagina como ocorre uma reação orgânica.

APÊNDICE C – QUESTÕES ABERTAS SOBRE REAÇÕES DE ADIÇÃO

COMPONENTE CURRICULAR – QUÍMICA 3ª SÉRIE – ENSINO MÉDIO	MATERIAL DE APOIO

REAÇÕES DE ADIÇÃO

1) Observe as reações a seguir:

A) $CH_2 = CH_2 + H_2 \longrightarrow$

B) $CH_2=CH-CH_2 + H_2 \longrightarrow$

C) $CH_2=CH-CH_2 + HBr \longrightarrow$

D) $C_2H_4 + HCl \longrightarrow$

Dada as reações acima,

A) Faça uma representação (modelo) de como ocorre às reações, destacando a formação de intermediários.

APÊNDICE D – AVALIAÇÃO FINAL DO CONTEÚDO

COMPONENTE CURRICULAR – QUÍMICA 3ª SÉRIE – ENSINO MÉDIO	AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM

1) O **2-metilpropeno** tem fórmula molecular C_4H_8 e, reage com H_2 na presença de um catalisador adequado formando o composto **B**. Considerando essas informações:

A) Faça uma representação que demonstre a reação que ocorre.

B) Descreva qual o tipo de reação ocorre e qual o nome do composto **B** produzido.

2) O **cloreto de etila** pode ser obtido através da reação de hidroalogenação entre um **eteno** e um **ácido clorídrico**, utilize os modelos para representar esta reação.

Considerando a representação da reação, avalie como verdadeiro ou falso os itens a seguir e justifique:

a) ( ) Na reação não se aplica a regra de Markovnikov.

Justifique:

b) ( ) Na reação ocorreu adição eletrolítica.

Justifique:

c) ( ) Ocorreu uma Hidroalogenação com formação de carbocátion.

Justifique: