



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO



DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

LEONARDO MIRANDA RINO RAMOS

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE FÁRMACOS A PARTIR DO USO DE
METODOLOGIAS ATIVAS

RECIFE

2025

LEONARDO MIRANDA RINO RAMOS

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE FÁRMACOS A PARTIR DO USO DE
METODOLOGIAS ATIVAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional - PROFQUI da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Joacy Vicente Ferreira.

RECIFE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Lorena Teles – CRB-4 1774

R175s Ramos, Leonardo Miranda Rino.
 Uma sequência didática sobre fármacos a partir do uso de metodologias ativas / Leonardo Miranda Rino Ramos. – Recife, 2025.
 129 f.; il.

 Orientador(a): Joacy Vicente Ferreira.

 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Química (PROFQUI), Recife, BR-PE, 2025.

 Inclui referências e apêndice(s).

 1. Aprendizagem ativa. 2. Três Momentos Pedagógicos (3MP). 3. Fármacos. 4. Tecnologia educacional 5. Ensino Médio - Metodologia. I. Ferreira, Joacy Vicente, orient. II. Título

CDD 540

LEONARDO MIRANDA RINO RAMOS

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE FÁRMACOS A PARTIR DO USO DE
METODOLOGIAS ATIVAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional - PROFQUI da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Joacy Vicente Ferreira.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Joacy Vicente Ferreira (Orientador)

Instituto Federal de Pernambuco - IFPE, Campus Belo Jardim

Prof. Dr. Luciano de Azevedo Soares Neto

(Examinador interno)

Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Prof. Dr. Etelino José Monteiro Vera Cruz Feijó de Melo

(Examinador externo)

Instituto Federal de Pernambuco - IFPE, Campus Vitória de Santo Antão

Dedico esta dissertação à minha família, aos meus parentes e amigos, que são parte essencial do meu propósito e fonte constante de motivação para cada esforço empreendido....

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação foi possível graças ao apoio, incentivo e companheirismo de pessoas que estiveram ao meu lado ao longo de toda a trajetória.

Agradeço, em primeiro lugar, à minha companheira, Patrícia Marinho, pelo suporte emocional incondicional e pela presença constante — base essencial na minha caminhada.

Aos meus avós, Heleno e Hermantina: a ele, figura central em minha vida, exemplo de sabedoria e de como viver com dignidade; a ela, que já não está mais entre nós, mas que permanece viva em minhas lembranças e ensinamentos. A ambos, minha gratidão por sempre acreditarem em mim.

Aos meus pais, Valter e Conceição, por todo o amor, proteção e dedicação ao longo da minha vida.

Aos professores do PROFQUI, pelos ensinamentos construídos com rigor, compromisso e sensibilidade, que foram fundamentais para a construção do conhecimento que sustenta este trabalho.

Aos amigos e amigas do PROFQUI, pela escuta generosa, pelas conversas que aliviaram os momentos de tensão e pelo companheirismo nos períodos mais desafiadores.

Ao meu orientador, Joacy, por sua orientação atenta, pelas críticas construtivas e pela confiança depositada no desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste projeto. Esta dissertação é fruto de um esforço que não se faz sozinho.

RESUMO

O trabalho apresenta uma sequência didática sobre fármacos, fundamentada em metodologias ativas, com o objetivo de promover uma aprendizagem significativa e contextualizada no ensino de Química para o Ensino Médio. A pesquisa, de natureza qualitativa e exploratória, foi conduzida sob a abordagem da Pesquisa-Ação, utilizando as metodologias dos Três Momentos Pedagógicos e a Aprendizagem Baseada em Problemas. A sequência didática foi estruturada em três etapas: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento, com foco nas propriedades eletrônicas estruturais dos fármacos e no uso de ferramentas digitais, como o portal *InSilico Lab*. A proposta foi avaliada por 23 professores de Química, que destacaram sua clareza, aplicabilidade e potencial pedagógico, ainda que tenham sugerido ajustes pontuais. Os resultados indicaram ampla aceitação da sequência, sugerindo contribuições para a contextualização de conceitos abstratos, o estímulo ao protagonismo estudantil e a integração de tecnologias digitais ao ensino. Ademais, apontam que a proposta tem potencial para fortalecer a formação científica e crítica dos estudantes, revelando-se passível de adaptação a diferentes contextos educacionais.

Palavras-chave: Metodologias Ativas; Três Momentos Pedagógicos (3MP); Fármacos; Tecnologias Digitais; Ensino Médio.

ABSTRACT

This work presents a didactic sequence on pharmaceuticals, grounded in active learning methodologies, aiming to promote meaningful and contextualized learning in high school Chemistry education. The qualitative and exploratory research was conducted using the Action Research approach, supported by the Three Pedagogical Moments methodology and Problem-Based Learning (PBL). The didactic sequence was structured in three stages: initial problematization, knowledge organization, and knowledge application, focusing on the structural electronic properties of pharmaceuticals and the use of digital tools, such as the InSilico Lab portal. The proposal was evaluated by 23 Chemistry teachers, who highlighted its clarity, applicability, and pedagogical potential, although they suggested specific adjustments. The results indicated broad acceptance of the sequence, suggesting contributions to the contextualization of abstract concepts, the encouragement of student empowerment, and the integration of digital technologies into teaching. Furthermore, they point out that the proposal has the potential to strengthen students' scientific and critical thinking skills, proving adaptable to different educational contexts.

Keywords: Active Learning Methodologies; Three Pedagogical Moments (3MP); Pharmaceuticals; Digital Technologies; High School Education

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 – Interface inicial do portal InSilico Lab em desktop. | 42 |
| Figura 2 – Interface inicial do portal InSilico Lab em dispositivo móvel. | 43 |
| Figura 3 – Linha do tempo do fármaco Penicilina, criada na plataforma Preceden. | 53 |
| Figura 4 – Link de acesso ao banco de dados DrugBank no portal InSilico Lab. | 55 |
| Figura 5 – Banco de dados DrugBank com dados da Benzilpenicilina. | 56 |
| Figura 6 - Código Smiles da Benzilpenicilina obtido no banco de dados DrugBank. | 58 |
| Figura 7 - Link de acesso ao simulador MolView no portal InSilico Lab. | 58 |
| Figura 8 – Estrutura molecular da penicilina benzatina obtida no simulador MolView. | 59 |
| Figura 10 – Gráfico da resposta à pergunta: Você atua atualmente como professor(a) de Química? | 66 |
| Figura 11 - Gráfico da resposta à pergunta: “Há quanto tempo você leciona Química?” | 67 |
| Figura 12 - Gráfico da resposta à pergunta: Quais os níveis de ensino em que você atua atualmente? | 68 |
| Figura 13 - Gráfico da resposta à pergunta: A proposta da sequência foi apresentada de forma clara e coerente? | 69 |
| Figura 14 - Gráfico da resposta à pergunta: Você considera que o uso do PBL foi adequado na proposta apresentada? | 74 |
| Figura 15 - Gráfico da resposta à pergunta: Qual o grau de aplicabilidade dessa sequência didática no seu contexto escolar? | 79 |
| Figura 16 - Marcos históricos do desenvolvimento de um fármaco. | 98 |
| Figura 17 - Pergunta disparadora: Como você acha que medicamentos como a aspirina foram descobertos? | 99 |
| Figura 18 – Linha do tempo do fármaco Penicilina. | 100 |
| Figura 19 - Marcos históricos do desenvolvimento do fármaco Penicilina. | 101 |
| Figura 20 – Interface inicial do portal InSilico Lab em desktop. | 105 |
| Figura 21 – Banco de dados DrugBank disponível no portal InSilico Lab. | 107 |
| Figura 22 – Banco de dados DrugBank com dados da Benzilpenicilina. | 108 |
| Figura 23 - Código Smiles da Benzilpenicilina obtido no banco de dados DrugBank. | 109 |
| Figura 24 - Link de acesso ao simulador MolView disponível no portal InSilico Lab. | 110 |
| Figura 25 – Estrutura molecular da penicilina benzatina obtida no simulador MolView. | 111 |
| Figura 26 - Visualização da superfície de potencial eletrostático penicilina | |

| | |
|---|-----|
| benzatina obtida no simulador MolView. | 112 |
| Figura 27 - Funcionalidades das ferramentas disponíveis no Portal InSilico Lab. | 115 |
| Figura 28 - Questionário aplicado aos professores (1/9) | 120 |
| Figura 29 - Questionário aplicado aos professores (2/9) | 121 |
| Figura 30 - Questionário aplicado aos professores (3/9) | 122 |
| Figura 31 - Questionário aplicado aos professores (4/9) | 123 |
| Figura 32 - Questionário aplicado aos professores (5/9) | 124 |
| Figura 33 - Questionário aplicado aos professores (6/9) | 125 |
| Figura 34 - Questionário aplicado aos professores (7/9) | 126 |
| Figura 35 - Questionário aplicado aos professores (8/9) | 127 |
| Figura 36 - Questionário aplicado aos professores (9/9) | 128 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Marcos históricos do desenvolvimento de um fármaco. | 49 |
| Tabela 2 - Marcos históricos do desenvolvimento do fármaco Penicilina. | 51 |
| Tabela 3 - Funcionalidades das ferramentas disponíveis no Portal InSilico Lab. | 63 |
| Tabela 4 - Respostas abertas dos professores à pergunta: “A temática dos fármacos articulada às propriedades eletrônicas da matéria é adequada para o ensino de Química?” | 72 |
| Tabela 5 - Respostas abertas dos professores à pergunta: “A sequência contempla habilidades importantes segundo a BNCC e estimula o desenvolvimento cognitivo dos estudantes? Explique brevemente.” | 77 |
| Tabela 6 - Respostas abertas dos professores à pergunta: “Você tem sugestões para aprimorar essa proposta didática?” | 82 |

LISTA DE SIGLAS

3MP - Três Momentos Pedagógicos

a.C. - antes de Cristo

AP - Aplicação do Conhecimento

AVA - Ambiente Virtual de Aprendizagem

BNCC - Base Nacional Comum Curricular

CAD - *Computer-Assisted Drug Design*

MAA - Metodologias Ativas de Aprendizagem

OC - Organização do Conhecimento

PBL - Aprendizagem Baseada em Problemas (*Problem-Based Learning*)

PCNs - Parâmetros Curriculares Nacionais

PI - Problematização Inicial

TICs - Tecnologia da Informação e Comunicação

TDIC - Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

SD - Sequência Didática

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 18 |
| 2.1 Objetivo Geral | 18 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 18 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO | 19 |
| 3.1 Metodologias Ativas e Cultura Digital | 19 |
| 3.2 Sequência Didática como Prática Transformadora | 24 |
| 3.3 Integração entre Tema Gerador e Três Momentos Pedagógicos | 28 |
| 3.4 Do Cotidiano à Simulação Molecular | 29 |
| 3.5 PBL e Química Computacional Aplicados ao Estudo de Fármacos | 32 |
| 3.6 Ambientes Pedagógicos Colaborativos | 36 |
| 3.7 Horizontes da Educação na Cultura Digital | 40 |
| 3.8 O portal InSilico Lab | 41 |
| 4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO | 45 |
| 4.1 Caracterização da pesquisa | 45 |
| 4.2 Contexto da Pesquisa | 45 |
| 4.3 Participantes da Pesquisa | 46 |
| 4.4 Etapas Metodológicas | 47 |
| 4.5 Caracterização da Sequência Didática Proposta | 48 |
| 4.5.1 Etapa 1 – Problematização Inicial | 48 |
| 4.5.2 Etapa 2 – Organização do Conhecimento: Leitura Estrutural e Eletrônica de Fármacos no Portal InSilico Lab | 53 |
| 4.5.3 Etapa 3 – Aplicação do Conhecimento: Proposta de intervenção ou comunicação científica sobre o uso de fármacos | 64 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 66 |
| 5.1 Avaliação da Sequência Didática | 66 |
| 6. CONCLUSÃO | 84 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 86 |
| APÊNDICE A - Produto Educacional | 94 |
| APÊNDICE B - Questionário de Avaliação da Sequência Didática | 120 |

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, os avanços tecnológicos impulsionam transformações profundas na sociedade, gerando períodos de ruptura conhecidos como 'revoluções'. Essas mudanças, iniciadas com a transformação de materiais na Idade da Pedra e evoluindo até a era digital, redefinem continuamente as estruturas econômicas, sociais e culturais ao longo da história. Da revolução neolítica, que introduziu a vida sedentária, passando pela revolução industrial até a atual transformação digital, cada avanço trouxe mudanças profundas e frequentemente aceleradas.

Estamos imersos em um cenário de transformação digital, um período marcado pela automação da informação e pela integração entre inteligência biológica e artificial. Essa dinâmica gera impactos significativos e abrangentes em múltiplos setores sociais (HILBERT, 2020). Esse período é comumente identificado como Revolução Digital ou Quarta Revolução Industrial. Conforme apontam Baracho e Freitas Júnior (2019), essa revolução compreende as transformações impulsionadas pelas Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) na sociedade atual, destacando-se pela ampliação do acesso à informação, pelo desenvolvimento de uma sociedade em rede e pela reestruturação dos processos produtivos e das interações sociais.

Essa cultura digital transformou radicalmente nossa relação com o conhecimento, potencializando formas diversas de interação e comunicação por meio das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC). Segundo Bruno (2019), a digitalização ampliou significativamente a produção e disseminação de informações, gerando um cenário de conexão permanente e interação em redes sociais e plataformas digitais. Essa cultura não apenas democratizou o acesso ao saber, mas também revolucionou sua produção, compartilhamento e utilização, fomentando práticas mais interativas e colaborativas.

No âmbito educacional, a revolução digital, em resposta às demandas da quarta revolução industrial, impulsiona novas propostas de Educação. Esse movimento parte da inclusão digital, avança para a aplicação intensiva de tecnologias e culmina na busca por

uma formação integral, que equilibra a proficiência tecnológica com o desenvolvimento de uma sociedade mais inclusiva, ética e humana.

Nesse contexto, o papel do professor transcende a simples transmissão de conteúdo, como praticado no modelo tradicional de ensino, exigindo uma reconfiguração substancial de sua prática. Na Cultura Digital, o docente assume a função de mediador e curador, tornando-se um parceiro dos alunos na jornada de aprendizagem. Sua principal tarefa é orientar os estudantes a navegar criticamente pelo excesso de informações, ajudando-os a pesquisar, selecionar e organizar dados de fontes confiáveis, em um processo de curadoria digital que fomenta a passagem de meros consumidores de conteúdo para produtores e autores. Ao compartilhar protagonismos e utilizar as TDIC para construir conhecimento de forma colaborativa, o professor ajuda a romper com as "gaiolas epistemológicas" do ensino tradicional, promovendo uma docência mais plural e alinhada a uma Educação Aberta e transformadora (BRUNO, 2019).

Em contraste com o modelo tradicional, as Metodologias Ativas de Aprendizagem (MAA) representam uma estratégia fundamental para a ressignificação da educação no século XXI. Elas colocam o aluno no centro do processo, incentivando a construção colaborativa do conhecimento através da experiência e da problematização da realidade. O professor, nesse contexto, assume o papel de mediador e facilitador, orientando os alunos na criação de ambientes de aprendizagem estimulantes e auxiliando na formação de autonomia e corresponsabilidade. O resultado é uma educação mais significativa, reflexiva e transformadora, que atende às demandas de uma sociedade em constante evolução (DIESEL et al., 2017).

Santos e Castaman (2022) argumentam, ainda, que a implementação das metodologias ativas exige dedicação e adaptação tanto por parte dos professores quanto dos alunos, uma vez que ambos precisam assumir novos papéis no processo de ensino-aprendizagem. O professor deixa de atuar exclusivamente como transmissor de informações para se tornar mediador, facilitador e orientador; já o aluno passa a ocupar uma posição de protagonismo, assumindo uma postura mais reflexiva e autônoma na construção do conhecimento. Tais metodologias não se restringem ao uso de tecnologias,

mas demandam planejamento cuidadoso, intencionalidade pedagógica e uma compreensão aprofundada dos processos de aprendizagem. A transformação efetiva ocorre quando essas práticas são aplicadas de forma contextualizada e estratégica, promovendo engajamento, reflexão e autonomia — e não apenas pela introdução de recursos tecnológicos no ambiente escolar.

Nesse sentido, considerando as demandas dos estudantes imersos na cultura digital e as propostas inovadoras da educação contemporânea, este trabalho investiga formas de sistematizar o ensino de Química no Ensino Médio, com ênfase em tópicos da estrutura da matéria, como ligações químicas e geometria molecular. Para tal, emprega-se o portal *InSilico Lab* — um website criado especificamente para esta pesquisa —, cujo objetivo é transpor esses conteúdos abstratos para situações concretas do cotidiano dos estudantes. A intenção é promover uma aprendizagem mais interativa, contextualizada e significativa, que favoreça a compreensão da estrutura atômica e molecular por meio de abordagens que valorizem o protagonismo discente, a autonomia e a construção ativa do conhecimento.

Diversos estudos apontam que as dificuldades dos estudantes no aprendizado de conceitos químicos, como ligações e transformações químicas, estão fortemente relacionadas à presença de concepções alternativas persistentes e à abordagem tradicional do ensino, que privilegia a memorização em detrimento da compreensão conceitual (HUNTER; RODRIGUEZ; BECKER, 2022). Essa limitação é reforçada por livros didáticos que apresentam os conteúdos de forma impositiva, descontextualizada e com pouca articulação entre fundamentos históricos e propriedades químicas, o que compromete o desenvolvimento do pensamento crítico e a construção de um conhecimento mais significativo (SANTOS; SILVA; WARTHA, 2011). Além disso, há dificuldades específicas na compreensão dos níveis submicroscópico, simbólico e macroscópico, sobretudo quando se trata de fenômenos abstratos como reações químicas, átomos, íons e moléculas, o que é agravado pela fragmentação entre esses níveis e pela ausência de conexões com situações concretas do cotidiano (KRAISIG; BRAIBANTE, 2019).

Diante deste cenário, especialmente no que se refere a conceitos abstratos da química, como aqueles relacionados à estrutura da matéria, buscamos em nossa proposta a aplicação de metodologias capazes de superar as dificuldades apresentadas pelos estudantes e, simultaneamente, de transformar a sala de aula em um espaço dinâmico, colaborativo e centrado no estudante — no qual a aprendizagem se torne mais significativa e contextualizada.

Segundo Kraisig e Braibante (2019), estratégias que envolvem trabalho em grupo, atribuição de papéis e discussão colaborativa são eficazes para engajar os estudantes e aprimorar a compreensão dos conceitos. Além disso, relacionar os temas ao cotidiano torna o aprendizado mais relevante e interessante. Essas abordagens visam facilitar a aprendizagem, reduzir concepções alternativas e promover uma compreensão mais profunda dos conceitos químicos.

A organização intencional e articulada das atividades de ensino é crucial para o sucesso pedagógico, conforme aponta Zabala (1998). Ele enfatiza que sequências didáticas, conjuntos estruturados de atividades, devem ir além de uma simples lista de tarefas, integrando intenções educacionais e o papel formativo das ações para promover uma progressão coerente e significativa na aprendizagem. Para a elaboração eficaz dessas sequências, Zabala sugere critérios como a identificação dos conhecimentos prévios dos alunos, a apresentação de conteúdos de forma significativa, o ajuste ao nível de desenvolvimento da turma, a proposição de desafios que estimulem conflitos cognitivos e reflexão, a promoção da motivação, o incentivo à autoestima e o desenvolvimento de competências para "aprender a aprender", culminando na autonomia do estudante e na construção ativa e crítica do conhecimento.

A organização dos temas sobre estrutura da matéria, neste trabalho, seguiu uma sequência didática baseada na Metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), uma abordagem ativa desenvolvida por Delizoicov Neto e André Angotti, publicada originalmente em 1991 no livro "Física".

Segundo Urel (2022), a metodologia dos 3MP, trata-se de um método voltado especialmente para o ensino de Ciências, composto por três etapas articuladas: a

problematização inicial, em que são discutidas situações reais a partir dos conhecimentos prévios dos alunos; a organização do conhecimento, que envolve o aprofundamento teórico orientado pelo professor; e a aplicação do conhecimento, na qual os estudantes relacionam os conteúdos aprendidos com novas situações, desenvolvendo uma visão crítica e reflexiva. Inspirada na concepção freiriana de educação libertadora, a metodologia dos 3MP adapta os princípios de Paulo Freire ao contexto escolar formal, promovendo a formação de sujeitos questionadores, autônomos e conscientes de sua realidade.

Com o objetivo de atrair a atenção e despertar o interesse dos estudantes, na proposta apresentada neste trabalho buscamos contextualizar os conteúdos de forma que os elementos teóricos abordados na aula estivessem presentes em situações concretas do cotidiano. Para isso, adotamos a temática dos Fármacos, por sua relevância social e por oferecer múltiplas possibilidades como ponto de partida para o estudo dos conceitos químicos. Essa abordagem, conforme propõe Nascimento (2022), constitui uma ferramenta poderosa para tornar o ensino de Química mais dinâmico, contextualizado e significativo, ao possibilitar que os estudantes compreendam a aplicação prática dos conteúdos, desenvolvam o pensamento crítico e se conectem com questões reais que envolvem a sociedade e o meio ambiente.

Em suma, estruturamos uma sequência didática com base na Metodologia dos Três Momentos Pedagógicos e na Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), organizada em três etapas articuladas e progressivas para favorecer o engajamento, a construção do conhecimento e sua aplicação em contextos significativos. Ao propor esta intervenção, esta dissertação busca não apenas oferecer uma prática pedagógica inovadora e relevante para a educação contemporânea, mas também servir de referência para outros docentes oferecendo um modelo replicável e adaptável a diferentes turmas e realidades, com a descrição detalhada dos procedimentos de cada etapa, sugestões de instrumentos de avaliação formativa e indicação de recursos tecnológicos de fácil acesso. Além disso, evidencia a importância de contextualizar os conteúdos por meio de temas atuais e da interdisciplinaridade, o que pode ampliar a motivação dos alunos e fortalecer a relação escola–comunidade.

A proposta apresentada foi avaliada por 23 professores de Química, cujos retornos demonstraram ampla aceitação da sequência didática, indicando seu potencial como estratégia didático-pedagógica viável e relevante. Ao divulgar esses resultados — de natureza qualitativa, baseados na percepção dos docentes —, esta pesquisa busca fomentar o debate sobre boas práticas no ensino de Química, podendo oferecer subsídios para a formação continuada de professores e para futuras investigações acerca do impacto de metodologias ativas no desenvolvimento de competências científicas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e aplicar uma sequência didática que tenha como objeto de estudo as propriedades eletrônicas estruturais dos fármacos.

2.2 Objetivos Específicos

- Compreender as propriedades eletrônicas das substâncias;
- Realizar uma pesquisa individualizada sobre fármacos;
- Avaliar a sequência didática em conjunto com professores de química.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Metodologias Ativas e Cultura Digital

A “modernidade líquida”, como descrita por Zygmunt Bauman (2009), é caracterizada pela fluidez das relações e pela transitoriedade dos vínculos. No campo educacional, essa liquidez se reflete na superficialidade com que os conteúdos são consumidos, muitas vezes de forma semelhante ao fluxo contínuo e efêmero de informações nas plataformas digitais. O cenário educacional contemporâneo, nesse contexto, impõe aos educadores o desafio de engajar estudantes que cresceram imersos em uma realidade digitalizada, na qual o acesso à informação é constante, mas frequentemente superficial e oriundo de fontes pouco confiáveis.

Essa era da modernidade líquida, marcada pela fluidez e pela descartabilidade, demanda que os docentes adaptem suas práticas pedagógicas para atender às necessidades de uma geração acostumada à rapidez, à fragmentação e à efemeridade. Os educadores, nesse contexto, devem atuar como mediadores críticos, auxiliando os alunos no desenvolvimento de habilidades como análise, síntese e pensamento crítico — competências essenciais para filtrar e priorizar informações relevantes. É necessário, nesse sentido, que haja a promoção de uma educação que vá além do consumo imediato de dados, incentivando a reflexão, o aprofundamento e a construção de conhecimento sólido. Para tanto, torna-se fundamental integrar tecnologias e ferramentas pedagógicas, de modo a utilizar recursos que dialoguem com a realidade dos estudantes (SANTOS; BORDIN, 2019).

Santos e Bordin (2019, p. 4) apontam que:

Na modernidade líquida, se desfazer das coisas de forma rápida é algo, supostamente, prazeroso. A durabilidade deixa de ser uma qualidade, pois as coisas e as relações duram um tempo determinado. A forma como as pessoas passaram a consumir e se relacionar, passou a influenciar também a educação. A educação perde seu valor “sólido” neste novo contexto, o conhecimento que antes era acumulativo, agora tende a ser passageiro e descartável.

A educação enfrenta o desafio de acompanhar essas constantes mudanças sociais e culturais que marcam a contemporaneidade. Nesse contexto, torna-se necessário repensar os objetivos pedagógicos e adotar estratégias de ensino que dialoguem com um modo de vida marcado pela efemeridade e pela obsolescência acelerada do conhecimento. Se faz necessário propor práticas educacionais que façam sentido em um cenário onde o saber tende a ser consumido e descartado com a mesma rapidez dos bens materiais (SANTOS; BORDIN, 2019).

As abordagens educacionais baseadas nas Metodologias Ativas de Aprendizagem (MAA), embora tenham ganhado destaque recentemente, possuem raízes históricas profundas, que remontam a tradições pedagógicas antigas e às contribuições de renomados teóricos. Conforme aponta Lasakoswitsck (2022), a maiêutica socrática, já no século V a.C., propunha um método de ensino baseado no diálogo e na reflexão, incentivando os aprendizes a descobrirem suas próprias ideias e a alcançarem o conhecimento por meio do questionamento.

No início do século XX, estudiosos como Decroly e Dewey deram forma concreta a essas concepções, consolidando o que hoje conhecemos como Metodologias Ativas. Decroly introduziu o método global e os centros de interesse, sustentando que as crianças aprendem melhor quando conduzem o próprio processo de aprendizagem, compartilhando experiências e aplicando o que aprenderam em situações reais. Dewey, por sua vez, desenvolveu a educação progressiva, centrada na aprendizagem por meio da ação, da criatividade e da experimentação, colocando o estudante como protagonista do processo educativo (LASAKOSWITSCK, 2022).

No contexto brasileiro, essas ideias foram apropriadas e ressignificadas por pensadores como Anísio Teixeira e Paulo Freire. Teixeira promoveu uma educação integral e democrática, como exemplificado na criação da Escola Parque, e defendia que a escola deveria preparar os estudantes para a realidade do mundo, em constante transformação social e tecnológica. Paulo Freire, por outro lado, contribuiu com a pedagogia da autonomia, destacando que ensinar não é transferir conhecimento, mas criar

condições para que os educandos construam seu próprio saber com criticidade e participação ativa (LASAKOSWITSCK, 2022).

Esses pensadores, conforme discutido por Lasakoswitsck (2022), estabeleceram as bases das Metodologias Ativas de Aprendizagem, que hoje são reconhecidas como práticas fundamentais para o desenvolvimento da autonomia intelectual, da reflexão crítica e da capacidade de resolver problemas.

De acordo com Lasakoswitsck (2022, p. 16):

Nesse sentido, as MAA eram usadas em todas estas concepções, com mais ou menos eficácia, dependendo da ideologia de cada época. Sabe-se, então, que na contemporaneidade, a educação foca-se na transformação da sociedade, buscando estrategicamente conscientizar os estudantes sobre seus papéis ativos.

Diante dos desafios contemporâneos, é essencial adotar metodologias de ensino centradas no estudante, promovendo sua autonomia, protagonismo e pensamento crítico. A Educação 3.0, conforme descrita por Baracho e Freitas Junior (2019), busca romper com modelos tradicionais e padronizados, incentivando abordagens mais colaborativas, personalizadas e voltadas para a resolução de problemas. Essa perspectiva coloca o aluno como protagonista do processo de aprendizagem, conectando-o ao conhecimento de forma criativa e construtivista, enquanto o professor assume o papel de facilitador e mediador. Tal abordagem exige uma reconfiguração das práticas pedagógicas tradicionais, valorizando a integração das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) ao contexto educacional. Isso implica na incorporação intencional e contextualizada das tecnologias digitais, aliada à criação de ambientes de aprendizagem colaborativos, dinâmicos e desafiadores, pautados pela transdisciplinaridade e pelo pensamento crítico.

Conforme destacam Diesel, Baldez e Martins (2017), as metodologias ativas se fundamentam em princípios que priorizam a articulação entre teoria e prática, o desenvolvimento de competências cognitivas e socioemocionais, e a preparação dos

estudantes para atuarem como sujeitos críticos, reflexivos e transformadores da sociedade em que vivem.

Moran (2015) apresenta exemplos e estratégias capazes de promover o protagonismo dos estudantes, ressaltando a importância de integrar tecnologias digitais aos espaços físicos de aprendizagem. O autor enfatiza a necessidade de repensar o currículo, os tempos e os espaços escolares, de modo a criar ambientes mais flexíveis, conectados e centrados no aluno, favorecendo a personalização da aprendizagem e o trabalho colaborativo. Além disso, destaca que a formação dos professores para atuarem como orientadores e curadores do conhecimento, aliada ao uso de plataformas adaptativas e materiais didáticos atrativos, pode enriquecer significativamente o processo educativo, tornando-o mais pertinente e alinhado às exigências de uma sociedade dinâmica, tecnológica e em constante transformação.

Conforme destacado por Moran (2015, p. 16):

O que a tecnologia traz hoje é integração de todos os espaços e tempos. O ensinar e aprender acontece numa interligação simbiótica, profunda, constante entre o que chamamos mundo físico e mundo digital. Não são dois mundos ou espaços, mas um espaço estendido, uma sala de aula ampliada, que se mescla, hibridiza constantemente. Por isso a educação formal é cada vez mais blended, misturada, híbrida, porque não acontece só no espaço físico da sala de aula, mas nos múltiplos espaços do cotidiano, que incluem os digitais. O professor precisa seguir comunicando-se face a face com os alunos, mas também digitalmente, com as tecnologias móveis, equilibrando a interação com todos e com cada um.

Nessa perspectiva, conectar tecnologias digitais aos processos formativos—em vez de apenas “colocá-las na sala de aula”—amplia repertórios linguísticos, personaliza trajetórias de aprendizagem e fortalece o trabalho colaborativo. Contudo, essa inserção precisa ser orientada por finalidades emancipadoras: combater a exclusão digital, desenvolver leitura crítica das novas linguagens midiáticas e formar cidadãos capazes de mobilizar conhecimentos para transformar realidades socialmente desiguais. Integrar as

Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) à prática educacional deixou de ser um adorno pedagógico para se tornar condição de justiça social.

Nesse sentido, Baracho e Freitas Junior (2019, p. 26) lembram que a Educação 3.0 deve ir além da otimização de resultados escolares, assumindo um compromisso histórico com a construção de uma sociedade mais justa. Para os autores,

A Educação 3.0 precisa integrar as tecnologias como parte de processos educativos que contribuam para a formação do cidadão preparado para construir uma sociedade melhor e mais democrática por meio do enfrentamento das problemáticas sociais. Os modelos educativos, sobretudo dos países emergentes, necessitam de estruturar-se no sentido de absorver bem os impactos da globalização e das tecnologias da informação, para que essas não se tornem mais um elemento de desigualdade social. Uma nova educação deve objetivar, também, a formação integral para a leitura crítica das novas linguagens midiáticas. (BARACHO; FREITAS JUNIOR, 2019, p. 26)

Nesse contexto, a pedagogia de Paulo Freire, amplamente reconhecida e aplicada, destaca-se por sua abordagem libertadora e dialógica, centrada na conscientização dos educandos e na transformação da realidade social. Conforme destacado por Urel (2022), Freire propôs um método de alfabetização dividido em três etapas: investigação, tematização e problematização, que busca integrar o universo cultural dos alunos ao processo educativo, promovendo uma visão crítica do mundo. Sua pedagogia, fundamentada na prática da liberdade, rejeita métodos opressores e valoriza o papel ativo do educando como sujeito de sua própria história. Essa abordagem, voltada para a emancipação e a autonomia, influenciou profundamente a educação brasileira e mundial, sendo um marco na luta por uma educação inclusiva e transformadora.

Inspirado diretamente nesses princípios, Demétrio Delizoicov transpôs a educação libertadora de Freire para a escola formal, sistematizando os Três Momentos Pedagógicos (3 MP). Publicados pela primeira vez no livro Física (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1991), esses momentos reelaboram as etapas freireanas — investigação, tematização e

problematização — como problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento, conferindo-lhes feição específica para o ensino de Ciências.

Ainda segundo Urel (2022), a metodologia dos 3MP, parte de situações cotidianas vivenciadas pelos estudantes, articula diálogo e conscientização e, ao mesmo tempo, atende às exigências conceituais e procedimentais do currículo científico, ampliando o legado de Freire para um contexto escolar mais técnico sem perder de vista a emancipação do sujeito.

3.2 Sequência Didática como Prática Transformadora

As sequências didáticas têm suas origens vinculadas ao planejamento de ensino, sendo inicialmente abordadas como parte do processo de organização pedagógica. Ugalde e Roweder (2020) citam que no Brasil a difusão da sequência didática (SD) ocorreu de maneira mais ampla a partir da implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), sendo concebida como uma metodologia de ensino-aprendizagem centrada no aluno. Os autores ressaltam que essa abordagem emergiu como uma alternativa às práticas pedagógicas tradicionais, com o objetivo de promover transformações no processo educativo.

No âmbito internacional, Giordan, Guimarães e Massi (2011) destacam que as sequências didáticas ganharam destaque na Didática Francesa, especialmente no ensino de Matemática e Ciências. Guy Brousseau e Yves Chevallard foram figuras centrais nesse desenvolvimento, com teorias como a Teoria das Situações Didáticas e a Teoria da Transposição Didática.

Michèle Artigue também contribuiu significativamente ao consolidar o conceito de Engenharia Didática, que envolve etapas como análise preliminar, concepção, aplicação, análise a posteriori e validação. Essa abordagem busca integrar pesquisa e prática, utilizando as sequências didáticas como ferramentas para planejar e avaliar o ensino.

Ugalde e Roweder (2020, p. 11) destacam que:

[...] a sequência didática, enquanto metodologia, contribui de forma significativa tanto com o professor, pelo viés do ensino, quanto com o educando, pelo viés do conhecimento, uma vez que a organização em diferentes momentos apresenta um caráter dinâmico, que oportuniza a sequência das atividades e a socialização das informações que os alunos vão utilizar para construir seus argumentos. Assim, esse tipo de metodologia pode se configurar como uma proposta bem interessante para o dia a dia da prática docente, uma vez que possibilita sua aplicação e desenvolvimento em todas as fases do ensino, desde a educação infantil aos cursos superiores.

Antoni Zabala ganha destaque ao conceber a unidade didática como um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas, com objetivos educacionais claramente definidos e início e término conhecidos por docentes e discentes (apud GIORDAN; GUIMARÃES; MASSI, 2011). Ele enfatiza que identificar fases, atividades e relações internas de uma sequência é fundamental para compreender seu valor pedagógico e promover melhorias.

Segundo Ugalde e Roweder (2020), Zabala não diferencia “sequência didática” de “sequência de atividades”, porém apresenta critérios para sua construção, desenvolvimento e avaliação, agrupados em três grandes fases: planejamento, aplicação e avaliação.

No que diz respeito à aplicação, Zabala descreve quatro momentos: comunicação da lição, estudo individual do conteúdo, retomada/repetição coletiva e avaliação pelo professor. O propósito central dessa metodologia é ampliar a eficácia pedagógica, fundamentando-se em conhecimento aprofundado das variáveis que influenciam a aprendizagem.

Além disso, Zabala destaca a importância das inter-relações professor–aluno e aluno–aluno, observando o papel de cada participante na condução das tarefas, na organização dos conteúdos, na gestão de tempo e espaço, na seleção de recursos didáticos e nos processos de avaliação. Uma sequência bem estruturada, segundo ele, possibilita

integrar conteúdos fragmentados de forma harmônica, promovendo aprendizagens mais significativas e articuladas (apud UGALDE; ROWEDER, 2020).

Nesse contexto, a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3 MPs) constitui uma ferramenta potente para estruturar uma sequência didática, pois organiza o ensino em etapas que estimulam a construção ativa do conhecimento e articulam teoria e prática de forma significativa. Essa abordagem utiliza temas geradores extraídos do cotidiano discente, contextualizando o conteúdo e favorecendo a problematização. Quando sistematizada dessa maneira a sequência didática busca possibilitar a ressignificação dos saberes prévios dos estudantes, estabelecendo pontes com novos conceitos e promovendo o diálogo entre professor e aluno.

A divisão da sequência didática em problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento torna o trabalho dinâmico e interdisciplinar, atende às exigências da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e desenvolve competências como reflexão crítica, argumentação e tomada de decisões éticas e sustentáveis. A estrutura dos 3 MPs potencializa o ensino investigativo, tornando as sequências didáticas mais eficazes tanto na construção de conceitos científicos quanto na formação dos estudantes (NERI et al., 2020).

A sistematização proposta por Angotti (2015) contextualiza os três momentos pedagógicos iniciando o primeiro momento, Problematização Inicial (PI), conforme exposto:

Neste primeiro momento, caracterizado pela apreensão e pela compreensão da opinião dos alunos frente às questões em pauta, a função coordenadora do professor, mais do que responder ou fornecer explicações, volta-se para o questionamento dos posicionamentos da turma, fomentando a discussão sobre as distintas respostas dos alunos, e para a proposição de dúvidas sobre o assunto. Deseja-se aguçar posições contraditórias e localizar as possíveis limitações do conhecimento que vem sendo expressado pelos alunos, quando é cotejado, implicitamente, pelo professor, com o conhecimento científico que já foi selecionado para ser abordado. Em síntese, a finalidade deste momento é propiciar um distanciamento crítico do

aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão. O ponto culminante desta problematização é fazer com que o aluno sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém, ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um problema que precisa ser enfrentado. (ANGOTTI, 2015, p. 16)

No segundo momento, a fase de Organização do Conhecimento (OC), os conteúdos necessários para compreender o tema e a problematização inicial são estudados de modo sistemático, sob orientação do professor. Incluem-se atividades como resolução de problemas e exercícios destinados à apropriação de conceitos científicos fundamentais. Segundo Angotti:

Os conhecimentos selecionados como necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são sistematicamente estudados neste momento sob a orientação do professor. As mais variadas atividades são empregadas de modo que o professor possa desenvolver a conceituação científica identificada como fundamental para uma compreensão científica das situações que estão sendo problematizadas. (ANGOTTI, 2015, p. 17)

A terceira e última etapa, a Aplicação do Conhecimento (AP), visa empregar os saberes construídos para analisar e interpretar tanto as situações iniciais quanto outras análogas, articulando a conceituação científica a contextos reais e favorecendo a generalização desses conhecimentos. Conforme Angotti:

A meta pretendida nesta etapa do fazer pedagógico é muito mais capacitar o aluno a empregar os conhecimentos, na perspectiva de formá-los para articular, constante e rotineiramente, a conceituação científica com situações reais, do que simplesmente encontrar uma solução ao empregar algoritmos matemáticos que relacionam grandezas, ou qualquer outro problema típico dos livros textos. (ANGOTTI, 2015, p. 17)

Os Três Momentos Pedagógicos, delineados por Angotti, constituem um roteiro didático que integra diálogo, aprofundamento teórico e prática reflexiva, favorecendo uma aprendizagem ativa e crítica.

3.3 Integração entre Tema Gerador e Três Momentos Pedagógicos

Nesse contexto, um tema gerador atua como elemento estruturante na elaboração de uma sequência didática, orientando a problematização inicial e conectando o conteúdo científico às vivências concretas dos alunos. A partir de questões socialmente relevantes, um tema gerador possibilita a contextualização do ensino, promovendo a interdisciplinaridade e despertando o interesse dos alunos.

Conforme argumentam Miranda, Pazinato e Braibante (2017), um tema gerador não apenas organiza o percurso pedagógico, mas também potencializa a reflexão crítica e o engajamento dos estudantes, ampliando a função da escola como espaço de transformação social.

Nesse sentido, a escolha de um tema gerador, segundo a abordagem freireana, ocorre por meio de um processo de investigação temática que considera a realidade concreta e as necessidades da comunidade escolar. Esse processo envolve a coleta de dados sobre as condições sociais, econômicas, culturais e históricas da comunidade, a análise de contradições presentes nessas informações e a identificação de situações significativas que expressem a visão dos sujeitos sobre sua realidade. Em seguida, realiza-se a validação desses temas por meio de diálogos com os membros da comunidade escolar, assegurando sua relevância. Após essa etapa, procede-se à seleção dos conteúdos curriculares que possibilitam compreender criticamente o tema escolhido, promovendo a interdisciplinaridade. Por fim, o tema gerador orienta o planejamento e a realização de atividades pedagógicas com metodologias dialógicas e problematizadoras (MIRANDA; PAZINATO; BRAIBANTE, 2017).

A utilização de temas do cotidiano dos estudantes como temas geradores configura-se como uma estratégia potente para estimular a aprendizagem significativa e contextualizar os conteúdos científicos. A temática dos fármacos, por exemplo, possibilita a articulação entre saberes escolares e questões sociais relevantes, como a automedicação e o uso indiscriminado de medicamentos. Além disso, permite relacionar conceitos fundamentais da Química, como funções orgânicas e interações intermoleculares, a situações práticas do dia a dia, promovendo reflexões críticas sobre

saúde pública, consumo consciente e responsabilidade individual (GONÇALVES; BRUM, 2022). Os autores destacam ainda que:

A perspectiva de inserção do ensino de química para alunos do Ensino Médio por muitas vezes é encarada como um desafio. Despertar no aluno o interesse e a motivação pelos assuntos abordados em sala de aula é o papel do professor e faz parte do processo de ensino aprendizagem. O aluno, ao ser motivado pelo professor a pensar, tomar decisões, encarar situações do seu cotidiano terá maior empatia pelo tema abordado. Além disso, o uso do tema gerador fármacos pode permitir com que outros temas relevantes para a formação do aluno como cidadão consciente sejam abordados em sala de aula, dentre eles: automedicação, distúrbios psiquiátricos e o uso de medicamentos que não tenham sua eficácia comprovada, conforme observamos durante a pandemia, dentre outros (GONÇALVES; BRUM, 2022, p. 3).

A integração entre o tema gerador — fundamentado na realidade concreta dos estudantes — e a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos apresenta uma estratégia potente para estruturar uma sequência didática que não apenas organiza o ensino, mas também o torna profundamente significativo. Essa articulação permite uma abordagem contextualizada, dialógica e crítica, capaz de mobilizar os saberes prévios dos estudantes e conectá-los ao conhecimento científico de forma reflexiva. Ao valorizar o protagonismo discente e promover a formação de sujeitos ativos e conscientes, essa proposta demonstra potencial para responder às demandas contemporâneas da educação e reafirmar seu papel social de transformação da realidade.

3.4 Do Cotidiano à Simulação Molecular

Desde a Antiguidade, o uso de substâncias bioativas no tratamento de enfermidades tem sido uma prática essencial na história. Achados arqueológicos revelam que os neandertais, que coexistiram com o *Homo sapiens* há cerca de 40 a 80 mil anos, já demonstravam conhecimento sobre o ambiente e utilizavam plantas e fungos com propriedades medicinais. Vestígios encontrados em cavernas habitadas por esses homínídeos indicam o uso de ervas como mil-folhas, conhecida por sua atividade

antibacteriana, e camomila, com propriedades anti-inflamatórias e antibacterianas, mesmo com seu sabor amargo e baixo valor nutritivo (FERRO; REIS; FREITAS, 2024).

Além disso, evidências apontam para o uso do fungo *Penicillium*, que contém o antibiótico presente na penicilina, por indivíduos que apresentavam parasitas intestinais causadores de diarreia aguda. Curiosamente, outros neandertais da mesma caverna, que não apresentavam esses parasitas, não exibiam vestígios do fungo, sugerindo que seu uso era direcionado ao tratamento de condições específicas. Esses achados não apenas demonstram o uso medicinal de substâncias naturais, mas também indicam um nível significativo de compreensão sobre os efeitos terapêuticos de plantas e fungos, marcando o início da relação entre seres humanos e o uso de bioativos para promover a saúde e combater doenças. Essa prática ancestral constitui um precursor das modernas abordagens farmacológicas e evidencia como o conhecimento sobre substâncias bioativas evoluiu ao longo dos milênios (FERRO; REIS; FREITAS, 2024).

Com o passar dos séculos, figuras como Galeno, na Grécia Antiga, contribuíram para a disseminação do uso de extratos vegetais, consolidando as bases da farmácia. No Renascimento, com o avanço da imprensa, surgiram os primeiros herbários e farmacopeias, reunindo o conhecimento acumulado sobre remédios de origem vegetal. Esse período também foi marcado pela influência da Alquimia, que, embora envolvesse práticas simbólicas e filosóficas, introduziu procedimentos experimentais fundamentais para o desenvolvimento posterior da Química.

Nesse contexto, destacou-se Theophrastus Bombastus von Hohenheim, conhecido como Paracelso (1493–1541), cuja obra *Paragranum* (1530) propôs uma nova medicina baseada na observação e na prática, em oposição ao dogmatismo clássico. Como observa Schmidt (2019), Paracelso fundamentou sua proposta em quatro pilares — filosofia, astronomia, alquimia e virtude — e, ao reinterpretar a tradição alquímica, lançou as bases da chamada Iatroquímica, ao compreender que as transformações químicas poderiam ser aplicadas ao corpo humano para fins terapêuticos. Assim, a Alquimia e a Iatroquímica constituíram elos de transição entre o conhecimento empírico e a ciência moderna, abrindo caminho para a organização científica dos fármacos.

Já no século XIX, a Química assumiu um papel central na evolução dos medicamentos: substâncias como a morfina foram isoladas, sintetizadas e estudadas, permitindo a criação de analgésicos mais potentes e seguros. A partir da estrutura química de compostos naturais, surgiram também fármacos sintéticos, que hoje representam uma parcela significativa do mercado farmacêutico. Esses avanços foram impulsionados por técnicas de extração, purificação e síntese, que permitiram a produção em larga escala e a melhoria da eficácia dos medicamentos. Atualmente, os fármacos são desenvolvidos com base em estudos moleculares, biotecnologia e inteligência artificial, permitindo a criação de medicamentos personalizados e tratamentos mais eficazes. A evolução dos fármacos reflete não apenas o progresso científico, mas também a capacidade humana de transformar o saber empírico em ciência estruturada, promovendo melhorias na saúde e na qualidade de vida (COSTA, 2022).

Como marco dessa evolução, os avanços do século XIX convergiram para a sistematização da química medicinal, concebida como uma abordagem interdisciplinar que articula química, biologia, farmacologia e outras áreas no planejamento racional de fármacos. Nesse contexto, um dos modelos fundacionais foi o “chave-fechadura”, proposto por Emil Fischer em 1894, que permitiu a primeira racionalização das interações entre fármacos e bioreceptores a partir da complementaridade estrutural (BARREIRO, 2001). Contudo, embora pioneiro, esse modelo mostrou-se limitado diante da complexidade dos sistemas biológicos. Pesquisas posteriores, como as de Koshland em 1958, introduziram a hipótese do encaixe induzido (*induced fit*), segundo a qual a interação do ligante pode induzir ajustes conformacionais na proteína, aumentando a complementaridade. Mais recentemente, estudos de dinâmica molecular têm evidenciado que proteínas não existem em uma única conformação estável, mas em um conjunto dinâmico de estados conformacionais, de modo que o ligante seleciona, entre essas conformações pré-existentes, a mais favorável para a interação, fenômeno denominado seleção conformacional (*conformational selection*) (BOEHR; NUSSINOV; WRIGHT, 2009).

Nesse sentido, os métodos computacionais *in silico* começaram a desempenhar um papel crucial na aceleração do processo de descoberta de fármacos. Essas abordagens

permitiram a análise de grandes bibliotecas químicas, facilitando a identificação de compostos promissores para estudos posteriores. Além disso, possibilitaram a filtragem virtual de compostos, reduzindo significativamente o número de moléculas a serem testadas experimentalmente, o que economiza tempo e recursos. Outra contribuição importante foi a geração de hipóteses sobre mecanismos de ação, permitindo que pesquisadores explorassem interações moleculares e biológicas de forma mais eficiente. Essas inovações consolidaram o *Computer-Assisted Drug Design* (CAD) como uma ferramenta central na pesquisa farmacêutica, integrando ciência computacional e química medicinal para otimizar o desenvolvimento de novos medicamentos. (SALDÍVAR-GONZÁLEZ et al., 2016).

3.5 PBL e Química Computacional Aplicados ao Estudo de Fármacos

A trajetória histórica e tecnológica sustenta o reconhecimento dos fármacos como objeto privilegiado de estudo no ensino de Ciências e, particularmente, da Química. Do ponto de vista conceitual, fármacos são definidos como substâncias químicas com propriedades terapêuticas, capazes de interagir com sistemas biológicos a fim de prevenir, atenuar ou curar doenças. Como destaca Nascimento (2022, p.13):

Os medicamentos ou fármacos estão amplamente difundidos na sociedade e em sua maioria acessíveis à população, sua história e evolução, está compreendida dentro da farmacologia e caracteriza-se como algo extremamente essencial para manutenção da vida. Ao longo da história da humanidade é notória a busca por remédios, haja visto a grande mortandade por complicações ou agravamento de doenças atualmente tidas como simples e de fáceis tratamentos.

Do ponto de vista pedagógico, a escolha dos fármacos como eixo estruturante de uma sequência didática se justifica pela sua capacidade de contextualizar os conteúdos da Química e aproximá-los do cotidiano dos estudantes. Diversos autores apontam que o ensino de Química, quando desvinculado da realidade vivida pelos alunos, torna-se excessivamente abstrato e desmotivador. Nesse sentido, o uso dessas temáticas de ensino favorece a construção de significados e a motivação dos discentes. Como destacam Alba, Salgado e Pino (2013, p. 77):

Os estudantes podem ser motivados para a aprendizagem por meio de estratégias que vinculem o ensino de química com situações que fazem parte do seu dia-a-dia, propiciando uma interpretação e compreensão do mundo. Assim, os conteúdos de química podem ser mais interessantes e prazerosos, trazendo resultados desejados na aprendizagem, na medida em que o aluno encontrar, através do conhecimento químico, as respostas para as perguntas que fazem parte do seu mundo.

Além de sua relevância social, o tema dos fármacos permite integrar aspectos conceituais, procedimentais e atitudinais do conhecimento científico. De acordo com Nascimento (2022), trabalhar com a temática “Química dos medicamentos” favorece o desenvolvimento de habilidades como investigação, representação simbólica, análise crítica e tomada de decisões responsáveis, tanto em nível individual quanto coletivo.

Nesse sentido, a escolha do tema dos fármacos, como objeto de investigação no ensino de Química, representa uma estratégia pedagógica potente para mobilizar conhecimentos prévios, estimular a análise crítica e desenvolver competências científicas relevantes. Ao realizar pesquisas individualizadas sobre medicamentos presentes em seu cotidiano, por exemplo, os estudantes não apenas estabelecem conexões entre ciência e realidade, mas também aprofundam sua compreensão sobre como variações estruturais em moléculas influenciam propriedades como seletividade, toxicidade, absorção e afinidade com receptores biológicos. Como destacam Pazinato et al. (2012), essa abordagem favorece a identificação de grupos funcionais e a percepção de como pequenas alterações moleculares podem impactar significativamente as propriedades farmacológicas.

Ao integrar aspectos sociais, científicos e tecnológicos, essa proposta, fundamentada no tema dos fármacos, cria um contexto significativo para a aprendizagem, oferecendo uma base sólida para a aplicação de metodologias ativas como, por exemplo, a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL).

A Aprendizagem Baseada em Problemas (*Problem-Based Learning* – PBL) é uma metodologia ativa que coloca o aluno como protagonista do processo educativo,

promovendo a resolução de problemas reais ou próximos de sua realidade (SANTOS; CASTAMAN, 2022). Diferentemente de outras abordagens ativas — como a aprendizagem baseada em projetos, estudo de caso, sala de aula invertida e gamificação —, o PBL destaca-se por sua capacidade de integrar teoria e prática de forma significativa. Originado na década de 1960, nos cursos de Medicina, o método foi concebido para ajudar os estudantes a compreenderem novos conceitos a partir da resolução de problemas ligados às futuras profissões, favorecendo uma aprendizagem interdisciplinar e o desenvolvimento de competências como trabalho em equipe, criatividade e pensamento crítico.

Em sala de aula, o PBL envolve a formação de grupos, a apresentação de um problema e a realização de pesquisas individuais e coletivas. Os alunos analisam o problema, levantam hipóteses, investigam e sintetizam os resultados, enquanto o professor atua como mediador do processo, promovendo um ambiente de aprendizagem significativo. Uma de suas maiores virtudes é o foco no percurso investigativo mais do que na solução final, o que estimula a autonomia, a capacidade de pesquisa e o pensamento crítico. Já consolidado em cursos da área da saúde, o PBL tem demonstrado grande potencial também em outras áreas, desde que sua aplicação seja planejada cuidadosamente, considerando os desafios e as questões levantadas pelos próprios estudantes (SANTOS; CASTAMAN, 2022).

A possibilidade de explorar, a partir de temas geradores, como o tema dos fármacos, conteúdos tradicionalmente considerados abstratos no ensino de Química — como orbitais moleculares, densidade eletrônica, ligações intermoleculares e forças eletrostáticas —, por meio de investigações fundamentadas na Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), busca-se construir um conhecimento mais contextualizado e significativo. Essa abordagem permite que os estudantes compreendam conceitos teóricos complexos ao relacioná-los com situações reais e concretas, promovendo a articulação entre teoria e prática, o desenvolvimento do pensamento crítico e a autonomia intelectual.

Nesse contexto, a incorporação de recursos computacionais ao estudo dos fármacos potencializa ainda mais a proposta da metodologia PBL, pois transforma

conceitos teóricos em experiências visuais, interativas e investigativas. Ferramentas de modelagem molecular e visualização 3D permitem que os estudantes “enxerguem” orbitais, densidade eletrônica e forças intermoleculares, possibilitando conectar tais abstrações às moléculas pesquisadas. Simulações computacionais, como as de dinâmica molecular e cálculos estruturais, permitem gerar dados relevantes sobre seletividade, toxicidade e afinidade de moléculas com seus receptores biológicos. Tais informações podem orientar hipóteses e enriquecer as discussões em sala de aula, aproximando os estudantes da realidade da pesquisa científica contemporânea. Além disso, bases de dados químicos e algoritmos de inteligência artificial ampliam a pesquisa de informações, possibilitando que os grupos construam modelos preditivos, comparem propriedades e planejem novas estruturas com potencial farmacológico. Ao automatizar coletas experimentais e processar resultados, os computadores possibilitam que os estudantes se concentrem na análise crítica e na tomada de decisões, fortalecendo competências científicas alinhadas às demandas contemporâneas da Química e da Saúde.

Como destacam Dionízio et al. (2019, p. 12):

A aplicabilidade de diversas TIC disponíveis tem tido sucesso e tem sido bem recebidas pelos alunos, já que são amantes das tecnologias. Aplicativos de jogos, tabela periódica, calculadoras químicas, desenhos de moléculas diversas têm auxiliado as aulas, tornando-as mais atrativas e, conseqüentemente, mais significativas. O uso desses aplicativos aliados ao ensino de Química tem trazido mais descontração, interação, diversão, interesse e inovação para as aulas de Química, garantindo um aprendizado mais contextualizado e efetivo.

Com isso, destacamos que, ao integrar o estudo dos fármacos como tema gerador à metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e aos recursos da Química Computacional, delineia-se uma proposta pedagógica capaz de contextualizar conceitos abstratos, fomentar a autonomia intelectual e estimular o pensamento crítico dos estudantes. A articulação entre esses elementos não apenas busca promover uma aprendizagem mais significativa e conectada com a realidade dos alunos, mas também potencializar o desenvolvimento de competências científicas e digitais fundamentais para a formação cidadã no século XXI.

3.6 Ambientes Pedagógicos Colaborativos

A crescente digitalização da sociedade e os avanços no campo da ciência computacional têm promovido profundas transformações nas formas de ensinar e aprender. No ensino de Química, essas mudanças se evidenciam, entre outros aspectos, na incorporação da química computacional como ferramenta didático-investigativa e na emergência de propostas pedagógicas ancoradas na lógica da Educação 3.0, em consonância com os princípios da cultura digital.

A classificação dos modelos educacionais em Educação 1.0, 2.0 e 3.0 surgiu como uma tentativa de sistematizar a evolução histórica dos paradigmas pedagógicos à luz das transformações sociais, econômicas e tecnológicas. Embora o termo “Educação 3.0” tenha se tornado amplamente conhecido por meio da obra de Lengel, foi o professor Derek Keats, da Universidade de Witwatersrand, na África do Sul, quem o utilizou pela primeira vez, em 2007, ao propor uma lógica educacional colaborativa, coerente com as dinâmicas da sociedade contemporânea em rede. A proposta de Keats parte da crítica ao modelo tradicional centrado na figura do professor como único detentor do saber e destaca a necessidade de redefinir o papel dos sujeitos no processo de aprendizagem (SOUZA; SCHNEIDER, 2022).

Lengel (2012), ao retomar e expandir esse conceito, propõe que a compreensão das tensões que atravessam a educação atual requer uma análise retrospectiva sobre a maneira como os processos educativos sempre estiveram ligados às formas de organização do trabalho. A partir disso, ele delineia três períodos históricos que orientam essa evolução: a Educação 1.0, a Educação 2.0 e, por fim, a Educação 3.0, que emerge como resposta às exigências da sociedade digital e aos desafios da formação humana no século XXI (SOUZA; SCHNEIDER, 2022).

Conforme abordada por Baracho e Freitas Junior (2019), a Educação 1.0 teve origem na Grécia Clássica e era marcada pela relação direta entre tutor e aluno. Esse modelo elitista, destinado a poucos privilegiados, formou grandes pensadores e filósofos e predominou por cerca de dois mil anos, até o Renascimento, sendo questionado apenas com o surgimento de novas ideias e transformações sociais.

Com a Educação 2.0, surgida na Primeira Revolução Industrial, a escola passou a atender às demandas da sociedade fabril. O modelo padronizado visava formar mão de obra para a indústria, centrando-se na repetição e memorização, o que ficou conhecido como os “três R’s”: receber, responder e regurgitar. Apesar de ampliar o acesso à escolarização, esse modelo também gerou exclusões, rotulando como “mal aluno” aquele que não se adequava aos padrões estabelecidos — uma lógica que ainda persiste em muitas escolas.

Já a Educação 3.0 emerge como resposta às transformações da Quarta Revolução Industrial e às necessidades de uma sociedade digital e globalizada. Ela busca romper com as estruturas da educação fabril, propondo uma abordagem mais plural, contextualizada e diversificada.

Dessa forma, a Educação 3.0 busca promover a co-aprendizagem, a personalização do ensino e a autonomia dos estudantes, que se tornam protagonistas de suas experiências de aprendizagem. O professor, por sua vez, assume o papel de mediador e facilitador, incentivando a criatividade, a colaboração e a resolução de problemas reais. Além disso, essa nova abordagem educacional está profundamente conectada às mudanças sociais e econômicas contemporâneas, preparando os estudantes para serem criativos e inovadores, em vez de apenas reprodutores de tarefas (BARACHO E FREITAS JUNIOR 2019).

Esse modelo não se limita ao uso de tecnologias, mas visa transformar a sociedade por meio da inclusão digital, da democratização do conhecimento e da formação integral dos sujeitos. Fundamentada nos princípios da complexidade e da transdisciplinaridade, a Educação 3.0 propõe uma prática pedagógica crítica, colaborativa e comprometida com a construção de uma sociedade mais justa e sustentável, exigindo, portanto, um novo olhar sobre a escola e os processos de ensino-aprendizagem (BARACHO E FREITAS JUNIOR 2019).

Nesse sentido, a Educação 3.0, enquanto modelo pedagógico alinhado à lógica colaborativa e à cultura digital contemporânea, estabelece um terreno fértil para a inserção significativa das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) no ensino.

Essa perspectiva rompe com práticas transmissivas e conteudistas, valorizando metodologias ativas que colocam o estudante no centro do processo de aprendizagem. Assim, ao integrar as TIC ao ensino de Química, professores têm a oportunidade de transformar a sala de aula em um espaço dinâmico, interativo e conectado com a realidade dos alunos. Recursos como simulações computacionais, ambientes virtuais de aprendizagem, aplicativos educacionais e vídeos interativos não apenas visam facilitar a compreensão de conteúdos tradicionalmente abstratos — como orbitais moleculares ou mecanismos de reação —, mas também promover uma aprendizagem mais contextualizada e engajada, em consonância com os princípios formativos da educação contemporânea.

Conforme analisa Leite (2019), nas últimas três décadas o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) no ensino de Química passou por uma evolução marcada por mudanças nos recursos disponíveis e nas práticas pedagógicas. No primeiro decênio (1988-1997) despontou o computador como ferramenta didática, destacando-se experiências de realidade virtual para o estudo de átomos e moléculas, vistas como meio de enriquecer o aprendizado e preparar os alunos para o mercado de trabalho. Entre 1998 e 2007, a popularização da internet e dos cursos de Educação a Distância ampliou as possibilidades de simulação de experimentos e reações químicas, embora persistissem desafios como a fragmentação de informações e a necessidade de formação docente. No período de 2008 a 2017, vídeos educativos e dispositivos móveis passaram a mediar o processo de aprendizagem, inaugurando um paradigma de “Aprendizagem Tecnológica Ativa”, no qual metodologias ativas e acesso ubíquo a conteúdos transformaram a experiência do aluno. Atualmente, as TIC deixaram de ser apenas recursos complementares para se integrarem ao cotidiano discente, oferecendo inúmeras possibilidades de inovação desde que incorporadas de forma crítica e planejada, com ênfase na interação entre professores e alunos. O futuro, segundo Leite, aponta para um uso ainda mais amplo de dispositivos móveis aliados a estratégias pedagógicas bem fundamentadas, capazes de tornar o ensino de Química cada vez mais dinâmico, contextualizado e significativo. De acordo com Leite (2019, p. 338):

A utilização das TIC proporcionam uma aprendizagem construtivista, em que o aluno é estimulado a fazer investigações de acordo com os conhecimentos que ele já possui, instigando-o a internalizar novos conhecimentos. O aluno é valorizado por tudo que ele já sabe, por sua história de descobertas. Por outro lado, temos observado que o uso das tecnologias digitais combinadas com as metodologias ativas tem gerado um novo paradigma de aprendizagem, conhecida como Aprendizagem Tecnológica Ativa. Essa aprendizagem tecnológica ativa tem contribuído para novas práticas docentes, tornando a aprendizagem centrada no aluno.

Nesse sentido, como forma de integrar os interesses e necessidades dos estudantes aos objetivos educacionais, surgiram os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA), constituindo uma resposta às novas possibilidades e desafios trazidos pelas tecnologias para os sistemas de ensino. Essas plataformas tornaram-se essenciais na construção de modelos educacionais mais dinâmicos, interativos, inclusivos e colaborativos. De acordo com Moraes et al. (s.d.), os AVAs, quando utilizados em sala de aula, promovem um ensino mais democrático e eficiente, oferecendo aos alunos contato direto com diferentes tecnologias e novas formas de acessar e construir conhecimento. Além disso, esses ambientes tornam o processo de ensino-aprendizagem menos rígido e mais diversificado, facilitando práticas pedagógicas inovadoras tanto no ensino presencial quanto no remoto ou híbrido. Entre os exemplos citados pelos autores estão plataformas como Moodle, Google Meet, Google Maps e Studeo.

No artigo de Leite (2019), que apresenta uma pesquisa exploratória sobre a importância das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) no ensino de Química ao longo dos últimos trinta anos, é citado que, “no segundo decênio analisado (1998-2007)”, foi destacado o papel das páginas de internet como recursos pedagógicos capazes de revolucionar o estudo das ciências. Essas páginas permitiriam aos estudantes acessar conteúdos educacionais fora dos limites físicos da sala de aula ou do laboratório, ampliando as possibilidades de aprendizagem. No entanto, segundo o autor, ainda havia um desafio significativo relacionado à fragmentação e desorganização desses conteúdos disponíveis online.

Atualmente, os portais e plataformas online superaram muitas das limitações anteriormente apontadas, como a fragmentação e a desorganização dos conteúdos, consolidando-se como ferramentas potentes para transformar o processo de ensino-aprendizagem. Conforme já se vislumbrava em estudos anteriores, esses ambientes virtuais demonstram um enorme potencial para revolucionar as práticas pedagógicas.

O uso de plataformas online no ensino de Química, conforme apontado por Cresswell, Loughlin e Kim (2024), não apenas moderniza o currículo, como também oferece maior flexibilidade e suporte a diferentes perfis de estudantes, promovendo a autonomia e o engajamento. Tal abordagem revela-se especialmente eficaz em contextos de ensino híbrido ou remoto, nos quais a interação presencial é limitada. Os autores destacam que essas ferramentas devem ser consideradas parte integrante das estratégias pedagógicas, contribuindo para a melhoria dos resultados acadêmicos e para a qualificação da experiência de aprendizagem dos alunos.

3.7 Horizontes da Educação na Cultura Digital

Se a Educação 3.0 representou um marco ao propor uma escola mais plural, contextualizada e conectada às tecnologias digitais, constituindo-se como uma ruptura em relação ao modelo fabril e linear que ainda persiste em muitas instituições de ensino, o debate educacional contemporâneo aponta para desdobramentos mais recentes.

A Educação 4.0 surge diretamente do contexto da Quarta Revolução Industrial, caracterizada pela presença de tecnologias avançadas, como inteligência artificial, internet das coisas e cultura maker. Segundo Caires, Lima e Moura (2021, p. 2), “o termo Revolução 4.0 está ligado à revolução tecnológica que inclui linguagem computacional, inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT) e contempla o *learning by doing*”, o que reforça a ideia de um aprendizado voltado para a experimentação, os projetos e a prática criativa. Nessa perspectiva, mais do que inserir recursos tecnológicos em sala de aula, trata-se de reorganizar os processos pedagógicos, colocando o discente como agente ativo e colaborativo do próprio aprendizado.

Por sua vez, a Educação 5.0 amplia essa concepção ao retomar a centralidade da essência humana no processo educacional. Inspirada na noção de Sociedade 5.0, formulada no Japão, essa abordagem busca equilibrar a inovação tecnológica com a formação integral dos sujeitos. Para Felcher e Folmer (2021, p. 5):

A Educação 5.0 privilegia a concepção de que os conhecimentos digitais e tecnológicos são importantes, mas é preciso considerar também, as competências socioemocionais. São essas competências que capacitam o indivíduo para usar a tecnologia de forma saudável e produtiva, criando soluções relevantes para si e para a sociedade em geral.

Isso significa que, além das competências técnicas e cognitivas, há uma ênfase no desenvolvimento de habilidades socioemocionais (*soft skills*), como empatia, ética, colaboração e resiliência, consideradas essenciais para a construção de uma sociedade mais inclusiva e sustentável.

Dessa forma, tanto a Educação 4.0 quanto a Educação 5.0 não anulam as contribuições da Educação 3.0, mas as expandem: da inovação tecnológica para a inovação pedagógica e, desta, para a inovação humana. Assim, o debate desloca-se de uma educação voltada apenas à integração de tecnologias digitais para uma proposta que também valoriza a dimensão ética e social do processo formativo.

3.8 O portal *InSilico Lab*

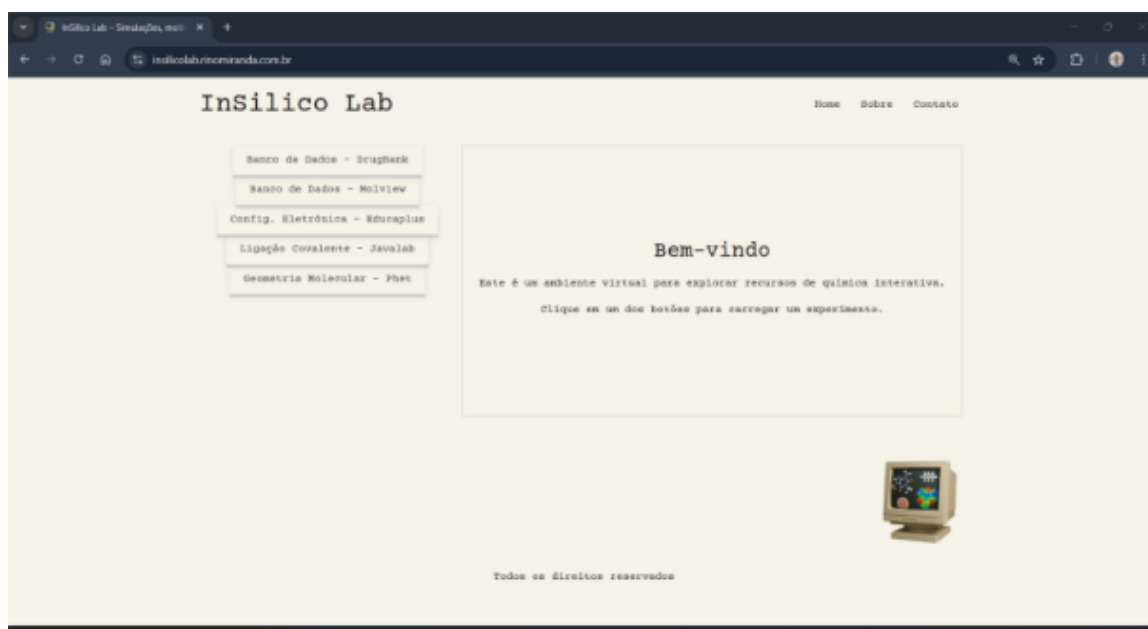
A proposta do portal *InSilico Lab*, desenvolvido no âmbito desta pesquisa, é integrar conteúdos teóricos a simulações computacionais acessíveis e intuitivas. Por meio dele, busca-se possibilitar que os alunos explorem conceitos abstratos com o apoio de ferramentas digitais que ampliam a visualização, a experimentação e a análise crítica.

Nesse sentido, o portal foi concebido com base em princípios educacionais contemporâneos que dialogam desde a perspectiva interativa da Educação 3.0 até os avanços tecnológicos da Educação 4.0 e a centralidade humanizadora da Educação 5.0, articulando metodologias ativas de aprendizagem, o aprender fazendo (*learning by doing*)

e o desenvolvimento de competências socioemocionais (*soft skills*), de modo a favorecer uma formação integral e inclusiva.

O nome do portal, *InSilico Lab*, foi inspirado no termo *in silico*, expressão utilizada na ciência computacional para designar experimentos realizados por meio de simulações e modelagens digitais. Segundo Saldívar-González, Prieto-Martínez e Medina-Franco (2017), *in silico* refere-se ao uso de métodos computacionais para a codificação de modelos teóricos, capazes de acelerar o processo de descoberta científica, auxiliar na compreensão de mecanismos moleculares e otimizar as propriedades de compostos químicos. Ao adotar essa denominação, o portal reafirma sua proposta de integrar tecnologia e ciência em um ambiente virtual de aprendizagem que estimula a visualização, a experimentação e a análise crítica de conceitos químicos.

Figura 1 – Interface inicial do portal *InSilico Lab* em desktop.



Fonte: O autor. Captura de tela do site <https://insilicolab.rinomiranda.com.br/> (2025).

Figura 2 – Interface inicial do portal *InSilico Lab* em dispositivo móvel.



Fonte: O autor. Captura de tela do site <https://insicolab.rinomiranda.com.br/> (2025).

A proposta do portal *InSilico Lab* foi pensada para ser multiplataforma, ou seja, acessível tanto em computadores quanto em dispositivos móveis. Como ilustram as figuras 1 e 2, o design da página inicial adapta-se aos diferentes formatos de tela, o que permite que os estudantes possam acessar os conteúdos e simulações interativas de qualquer lugar, a qualquer momento. Essa característica está em consonância com os

princípios educacionais que valorizam o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para tornar a aprendizagem mais autônoma, inclusiva e conectada com o cotidiano digital dos alunos.

4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

4.1 Caracterização da pesquisa

Considerando a relevância do uso de ferramentas computacionais no ensino de Química, esta pesquisa tem como foco o tema "Tecnologias Digitais no Ensino de Química", sendo desenvolvida a partir da perspectiva metodológica da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e ancorada na abordagem da Pesquisa-Ação.

Adotou-se uma abordagem qualitativa, que, segundo Triviños (1987), busca interpretar os significados atribuídos pelos sujeitos às suas ações e relações no contexto em que ocorrem. Essa abordagem valoriza a análise compreensiva e aprofundada da realidade, permitindo explorar experiências, percepções e práticas pedagógicas de forma contextualizada e crítica.

Conforme destacam Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa qualitativa é especialmente adequada quando se deseja compreender um grupo social em profundidade, considerando seus valores, crenças e relações. Nessa direção, optou-se também por uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva, como define Sampieri, Collado e Lucio (2013), ao enfatizar que tais estudos são pertinentes quando se busca investigar temas pouco explorados ou abordar objetos sob novas perspectivas.

A escolha pela Pesquisa-Ação justifica-se pelo seu caráter interventivo e colaborativo, permitindo que o pesquisador atue de forma ativa no processo de transformação da prática educativa. Trata-se de um tipo de investigação que integra ação e reflexão, visando à melhoria dos processos de ensino-aprendizagem mediados por tecnologias digitais, em diálogo direto com os sujeitos envolvidos.

- Método: Qualitativo
- Modalidade de Pesquisa: Pesquisa-Ação

4.2 Contexto da Pesquisa

A presente pesquisa será realizada no campo do ensino de Química, com foco na validação de uma sequência didática fundamentada em metodologias ativas e no uso de

tecnologias digitais. O objetivo central é investigar a aplicabilidade e a eficácia didático-pedagógica da proposta, tendo como recorte específico o ensino médio.

A sequência didática elaborada articula os Três Momentos Pedagógicos com a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e tem como eixo temático as propriedades eletrônicas de fármacos. Esse conteúdo, muitas vezes trabalhado de maneira abstrata nas aulas de Química, é aqui abordado por meio de simulações computacionais interativas, reunidas no ambiente virtual *InSilico Lab*. A proposta se alinha à perspectiva de inovação didática defendida por Ugalde e Roweder (2020), para quem a sequência didática representa uma estratégia de ensino-aprendizagem centrada no aluno, com potencial para promover aprendizagens significativas, eficientes e contextualizadas. Nesse sentido, o ambiente virtual busca integrar os recursos da química computacional à cultura digital dos estudantes, promovendo sua autonomia, criatividade e protagonismo.

A pesquisa será aplicada em contexto formativo, por meio da apresentação da proposta a professores da área de Química, os quais atuarão como validadores do material. Tal estratégia justifica-se pela relevância do professor como agente mediador e transformador da prática educativa, especialmente quando se trata da integração crítica e criativa das tecnologias digitais no processo de ensino-aprendizagem.

4.3 Participantes da Pesquisa

Os participantes da pesquisa serão professores da disciplina de Química, preferencialmente atuantes no ensino médio e com experiência em práticas pedagógicas que envolvam o uso de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC). Serão convidados docentes que estejam engajados em ações formativas ou redes de colaboração profissional, o que favorece uma participação reflexiva e fundamentada.

A seleção dos participantes se fundamenta no pressuposto de que o professor é peça-chave no processo de implementação e validação de propostas didáticas inovadoras. Como destacam Santos e Gebara (2021, p. 2), “[...] um dos papéis do professor pode ser constituir mecanismos e estratégias didáticas que possam oportunizar ao estudante o acesso ao saber científico e à construção de novos significados com o apoio das TIC.”.

A participação dos docentes permitirá avaliar a coerência teórico-metodológica, a viabilidade de aplicação e a clareza dos materiais desenvolvidos, além de oferecer subsídios para eventuais ajustes, contribuindo para o aprimoramento da proposta. Essa escolha está em consonância com a abordagem qualitativa da pesquisa, que, segundo Triviños (1987), valoriza a compreensão aprofundada das práticas e significados atribuídos pelos sujeitos em seus contextos de atuação.

4.4 Etapas Metodológicas

A presente pesquisa foi organizada em etapas que buscaram assegurar coerência entre os objetivos propostos e os procedimentos adotados. O desenvolvimento concentrou-se em duas fases principais: a elaboração da sequência didática e a sua posterior validação por professores da área de Química.

Na primeira etapa, foi elaborada uma sequência didática estruturada com base na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), integrando também os princípios da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e o uso do ambiente virtual *InSilico Lab* como espaço pedagógico colaborativo. A proposta foi construída com o objetivo de articular os conteúdos de Química com situações reais e promover a aprendizagem ativa, significativa e contextualizada, explorando as potencialidades das tecnologias digitais no processo educativo.

Na segunda etapa, a sequência didática foi submetida à validação por professores da área, com o intuito de avaliar sua clareza, aplicabilidade e pertinência pedagógica. O material foi disponibilizado em formato digital, acompanhado de um formulário avaliativo composto por questões abertas e fechadas, que permitiram aos docentes registrar percepções, críticas e sugestões de aprimoramento.

As contribuições recebidas foram sistematizadas e constituíram a base para a análise qualitativa da proposta. Essa etapa permitiu refletir sobre os aspectos positivos e os pontos a serem aperfeiçoados, bem como sobre a viabilidade da implementação da sequência no contexto real do ensino de Química.

4.5 Caracterização da Sequência Didática Proposta

A sequência didática aqui apresentada foi elaborada como uma proposta teórica fundamentada nos pressupostos das metodologias ativas, com ênfase na Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL). Sua estruturação segue o modelo dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), buscando promover uma abordagem interdisciplinar e contextualizada da Química. Para tanto, adotou-se o tema gerador dos fármacos como ponto de partida para discutir as propriedades eletrônicas da matéria, favorecendo uma aprendizagem significativa e integrada.

A seguir, apresenta-se a descrição detalhada das etapas da sequência didática, contemplando as atividades propostas, objetivos específicos, metodologia adotada, recursos pedagógicos, formas de avaliação e produtos esperados. Para fins exemplificativos, inclui-se um modelo de aplicação centrado no fármaco Penicilina, além de sugestões de ferramentas digitais que podem ser utilizadas na elaboração dos materiais didáticos.

- ❖ Tema Gerador: Fármacos e características estruturais e eletrônicas da matéria
- ❖ Componente Curricular: Química
- ❖ Série/Nível: 3º ano do Ensino Médio
- ❖ Tempo Estimado: De 3 a 5 aulas (ajustável conforme o contexto escolar)

4.5.1 Etapa 1 – Problematização Inicial

- Atividade: Linha do tempo de um fármaco: da tradição ao conhecimento científico.
- Duração Prevista: 1 a 2 aulas de 50 min.

Objetivos da Etapa:

- Mobilizar conhecimentos prévios dos estudantes sobre o uso de medicamentos;

- Compreender a trajetória histórica e científica de um fármaco;
- Relacionar saberes populares e científicos;
- Estimular a pesquisa e a organização cronológica de informações;
- Introduzir o tema da sequência, articulando-o com contextos sociais e culturais.

Descrição da Atividade:

Nesta etapa, os estudantes serão convidados a elaborar uma linha do tempo visual que apresente os principais marcos históricos relacionados à descoberta e ao desenvolvimento de um fármaco. Essa atividade tem como objetivo fomentar competências de pesquisa, análise crítica e síntese histórica, promovendo uma compreensão contextualizada do tema. A Tabela 1 apresenta os marcos históricos mínimos recomendados para a construção da linha do tempo.

Tabela 1 - Marcos históricos do desenvolvimento de um fármaco.

| Categoria | Descrição Esperada |
|----------------------------------|--|
| Origem empírica ou tradicional | Uso de plantas, práticas culturais ou saberes populares. |
| Primeiros registros documentados | Textos médicos antigos, alquimia, medicina greco-árabe. |
| Descobertas químicas associadas | Isolamento do princípio ativo, fórmula molecular. |
| Aplicações modernas | Terapias atuais, síntese laboratorial, IA na modelagem. |
| Curiosidades e polêmicas | Retirada do mercado, descobertas acidentais, usos indevidos. |

Fonte: O autor (2025)

Recursos e Formatos Sugeridos:

- Cartazes (papel craft, cartolina);
- Apresentações em slides (PowerPoint, Canva, Google Apresentações);

- Plataformas digitais de construção de linha do tempo, como a Preceden (disponível em: <https://www.preceden.com>).

Metodologia:

- Abertura (25 min):
 - 🌕 Roda de conversa com a pergunta disparadora: “Como você acha que medicamentos como a aspirina foram descobertos?”
 - 🌕 Levantamento de fármacos conhecidos e suas possíveis origens.
- Apresentação dialogada (25 min):
 - 🌕 Exibição de uma linha do tempo já construída sobre a Penicilina (Figura 3; Tabela 2).
 - 🌕 Discussão sobre os marcos históricos e avanços tecnológicos no desenvolvimento do fármaco Penicilina.
- Atividade prática (50 min):
 - 🌕 Escolha de um fármaco por dupla ou trio.
 - 🌕 Início da pesquisa para construção da linha do tempo.
 - 🌕 Produção do material em cartaz, slides ou digitalmente.

Avaliação:

- Critérios formativos:
 - 🌕 Participação nas discussões iniciais;

- Coerência histórica e científica da linha do tempo;
- Clareza e criatividade na apresentação visual;
- Relevância do fármaco escolhido para o tema da sequência.

Produto esperado:

- Linha do tempo (física ou digital);
- Texto breve explicativo com justificativa do fármaco e aprendizados obtidos.

Considerações:

A construção da linha do tempo, ainda que hipotética neste trabalho, ilustra como a integração entre ciência, cultura e tecnologia pode favorecer um aprendizado ativo, contextualizado e interdisciplinar. Esse recurso pode ser aplicado como estratégia de problematização inicial, estabelecendo uma ponte entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os conteúdos estruturantes da Química, como as propriedades dos fármacos.

Essa etapa, como primeira de uma sequência mais ampla, abre caminho para discussões posteriores sobre estrutura molecular, propriedades eletrônicas e modelagem computacional de fármacos – temas que serão desenvolvidos nas próximas etapas da proposta.

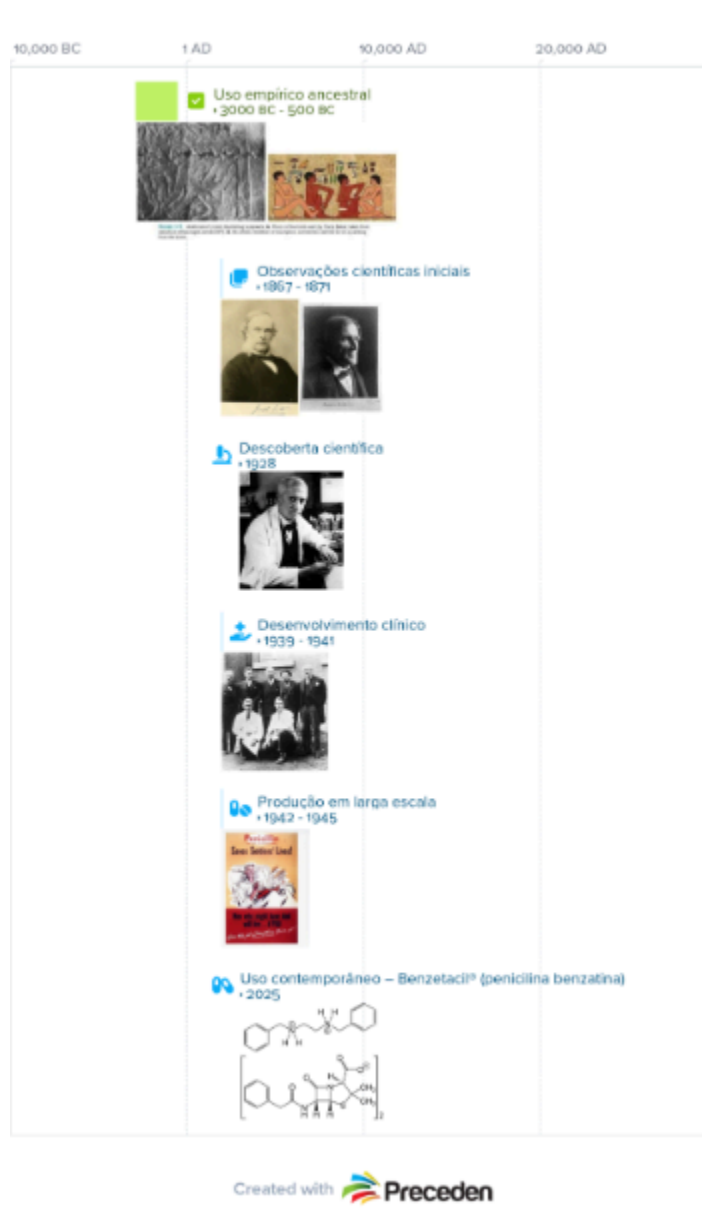
Tabela 2 - Marcos históricos do desenvolvimento do fármaco Penicilina.

| Período | Marco | Descrição |
|-------------|--------------|---|
| Antiguidade | Uso empírico | Culturas antigas, como a egípcia e a grega, faziam uso de fungos ou mofo no tratamento de feridas e infecções, ainda que de forma empírica, sem o conhecimento das substâncias ativas envolvidas (DAVIES; DAVIES, 2010) |

| | | |
|-----------|---|---|
| 1867–1871 | Primeiras observações científicas | Joseph Lister e John Scott Burdon-Sanderson observaram que o mofo impedia o crescimento de microrganismos, levantando hipóteses sobre suas propriedades antimicrobianas (GAUDELLI et al., 2022). |
| 1928 | Descoberta por Fleming | Alexander Fleming identificou, em seu laboratório, que o fungo <i>Penicillium notatum</i> inibia o crescimento de bactérias como <i>Staphylococcus aureus</i> . Este achado é considerado um marco na descoberta dos antibióticos (FLEMING, 1929). |
| 1939–1941 | Isolamento e testes clínicos | A equipe de Howard Florey e Ernst Chain conseguiu isolar, purificar e aplicar a penicilina em testes clínicos, demonstrando sua eficácia no tratamento de infecções bacterianas (AMERICANO DO BRASIL et al., 2020). |
| 1942–1945 | Produção em larga escala | Durante a Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento de métodos de fermentação em larga escala possibilitou a produção industrial da penicilina, consolidando sua importância terapêutica global (MAREK; DALLAGO, 2023). |
| 2025 | Uso contemporâneo – Benzetacil (penicilina benzatina) | Desde meados do século XX até os dias atuais, a penicilina benzatina permanece como uma importante forma terapêutica de penicilina G de ação prolongada, administrada via injeção intramuscular. É amplamente utilizada no tratamento de sífilis, faringites estreptocócicas e na profilaxia da febre reumática. Sua eficácia, baixo custo e inclusão nas políticas públicas de saúde (por exemplo, no SUS) reforçam seu valor no contexto clínico moderno (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015). |

Fonte: O autor (2025)

Figura 3 – Linha do tempo do fármaco Penicilina, criada na plataforma Preceden.



Fonte: O autor. Criado no Preceden (2025).

4.5.2 Etapa 2 – Organização do Conhecimento: Leitura Estrutural e Eletrônica de Fármacos no Portal *Insilico Lab*

Na etapa anterior, reconstruímos uma linha do tempo que teve início na Antiguidade, com registros de culturas como a egípcia e a grega utilizando fungos ou mofo de maneira empírica no tratamento de infecções. O percurso histórico culmina no

século XX com a consolidação da penicilina como agente terapêutico, destacando sua evolução até a formulação da penicilina benzatina — o Benzetacil —, cuja ação prolongada e administração intramuscular a tornam um recurso valioso na prática clínica contemporânea. Atualmente, o Benzetacil é amplamente utilizado no tratamento de sífilis, faringites estreptocócicas e na profilaxia da febre reumática, sendo reconhecido por sua eficácia, baixo custo e presença consolidada nas políticas públicas de saúde, como no Sistema Único de Saúde (SUS).

Após as investigações desenvolvidas na primeira etapa, damos início a uma nova fase da pesquisa: a análise química e eletrônica da substância. O aprofundamento agora proposto parte diretamente dos dados e relações estabelecidos anteriormente, especialmente a identificação do Benzetacil como uma forma terapêutica da penicilina G.

Essa análise tem como objetivo principal compreender o modo de ação da molécula no organismo, assim como reconhecer as características estruturais e eletrônicas responsáveis por suas propriedades farmacológicas. Para isso, utilizaremos ferramentas digitais acessíveis por meio do Portal *InSilico Lab*, que reúne recursos voltados à visualização e interpretação molecular. Todo o procedimento será descrito de maneira detalhada e didática, com o propósito de garantir a compreensão por parte dos estudantes do ensino médio.

A primeira etapa desta fase consiste na identificação do princípio ativo do fármaco. Para isso, utilizaremos o *DrugBank*, um banco de dados online que reúne informações detalhadas sobre medicamentos, incluindo suas propriedades químicas, farmacológicas e clínicas. Essa plataforma pode ser acessada diretamente a partir do Portal *InSilico Lab* (Figura 4).

Figura 4 – Link de acesso ao banco de dados *DrugBank* no portal *InSilico Lab*.



Fonte: O autor. Captura de tela do site <https://insilicolab.rinomiranda.com.br/> (2025).

Ao acessar o *DrugBank*, digite o termo “penicillin G benzathine” na barra de buscas do banco de dados e selecione a página correspondente ao medicamento em questão. Nessa página (Figura 5), é possível encontrar dados essenciais sobre a estrutura molecular da substância, seu mecanismo de ação, interações, usos terapêuticos, entre outras informações relevantes para as análises desta etapa.

Figura 5 – Banco de dados *DrugBank* com dados da Benzilpenicilina.

The screenshot displays the DrugBank website interface for the drug Benzilpenicilina (DB01053). The page is organized into several sections:

- Header:** Includes the DrugBank logo, navigation links (Explorar, Para descoberta de medicamentos, Para software clínico, Para Pesquisa Acadêmica), and a search bar.
- Left Sidebar:** A vertical menu with categories such as Identificação, Farmacologia, Interações, Produtos, Categorias, Identificadores Químicos, Referências, Ensaios clínicos, Farmacoeconomia, Propriedades, Espectros, Alvos (8), Enzimas (1), Transportadores (1), and Transportadores (11).
- Main Content Area:**
 - Estutura:** Displays the chemical structure of Benzilpenicilina.
 - Descrição:** A brief description of the drug as a penicillin antibiotic.
 - ID do DrugBank:** DB01053.
 - Modalidade:** Molécula pequena.
 - Aprovado nos EUA:** SIM.
 - Outros Aprobados:** SIM.
 - Patentes:** 0.
 - Condições indicadas:** 23.
 - Ensaios clínicos:** A table showing the number of trials in each phase: Fase 0 (2), Fase 1 (8), Fase 2 (12), Fase 3 (15), and Fase 4 (25).
 - Categorias terapêuticas:** A list of therapeutic categories including Agentes antibacterianos, Penicilinas Naturais, and Penicilinas.
- Footer:** Includes a section labeled IDENTIFICAÇÃO and a link to the 'Mostrar área de trabalho'.

Fonte: DrugBank. *DrugBank* Online. Disponível em: <https://go.drugbank.com/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

Dentro da página de cada fármaco no *DrugBank*, as informações são apresentadas em diferentes seções que organizam dados fundamentais, como “*Identification*” (Identificação), “*Pharmacology*” (Farmacologia), “*Targets*” (Alvos) e “*Chemical Identifiers*” (Identificadores Químicos). Desde sua concepção, o banco já se destacava por integrar dados químicos e biológicos em um formato acessível à pesquisa in silico (WISHART et al., 2006). No entanto, os avanços mais recentes consolidaram o *DrugBank* 6.0 como uma base de conhecimento altamente expandida, reunindo mais de 18.000 medicamentos e 5.000 proteínas-alvo, com vínculos cruzados a bases como KEGG, PubChem, PDB e UniProt. Além de dados sobre propriedades físico-químicas, estrutura molecular, mecanismos de ação e interações medicamentosas, a versão atual incorpora ferramentas de mineração de dados e algoritmos de inteligência artificial que possibilitam análises de similaridade estrutural, predição de metabolismo e toxicidade, bem como exploração de redes de interações droga-gene-doença. Com isso, o *DrugBank* deixa de ser apenas um repositório de informações e passa a se configurar como uma

plataforma dinâmica de apoio à descoberta de fármacos e ao desenvolvimento de abordagens integradas em química medicinal e farmacologia (WISHART et al., 2024).

De acordo com a proposta de construção ativa do conhecimento, cabe aos estudantes explorar de maneira independente as potencialidades do *DrugBank*, experimentando diferentes seções e cruzando informações de interesse. O papel do professor, nesse processo, é orientar quanto às possibilidades que a ferramenta disponibiliza, indicando caminhos que favoreçam análises mais aprofundadas. Entre essas seções, merece destaque a *Pharmacology*, que reúne dados sobre os efeitos da substância no organismo. Nela, por exemplo, encontramos a descrição do *mechanism of action* (mecanismo de ação), que explica como a penicilina benzatina exerce sua função terapêutica. Segundo o *DrugBank*, essa substância atua inibindo a etapa final da síntese da parede celular bacteriana, impedindo a formação da estrutura necessária à sobrevivência do microrganismo. Como consequência, ocorre a *lise* (ruptura) da célula bacteriana, levando à sua morte. Esse tipo de informação, quando explorado pelos alunos, contribui para compreender o papel do princípio ativo na ação antimicrobiana do Benzetacil e deve ser aprofundado nas etapas seguintes da análise.

Ainda na página do fármaco no *DrugBank*, é possível acessar o código *SMILES* (*Simplified Molecular Input Line Entry System*), que expressa a estrutura da molécula por meio de uma sequência padronizada de caracteres. Esse recurso, amplamente empregado em ferramentas de modelagem molecular, traduz em forma linear a disposição dos átomos e das ligações químicas, permitindo que a informação estrutural seja manipulada em diferentes plataformas digitais. No contexto da atividade proposta, os estudantes serão orientados a utilizar esse código em simuladores integrados ao Portal *InSilico Lab*, como o *MolView*, de modo a gerar representações tridimensionais da molécula. Essa visualização favorece uma análise mais aprofundada da penicilina benzatina, possibilitando observar sua geometria, grupos funcionais e características estruturais relevantes para compreender sua ação farmacológica.

Com o código *SMILES* em mãos (Figura 6), acessamos o *MolView*, uma ferramenta integrada ao Portal *InSilico Lab* (Figura 7). O *MolView* é uma plataforma

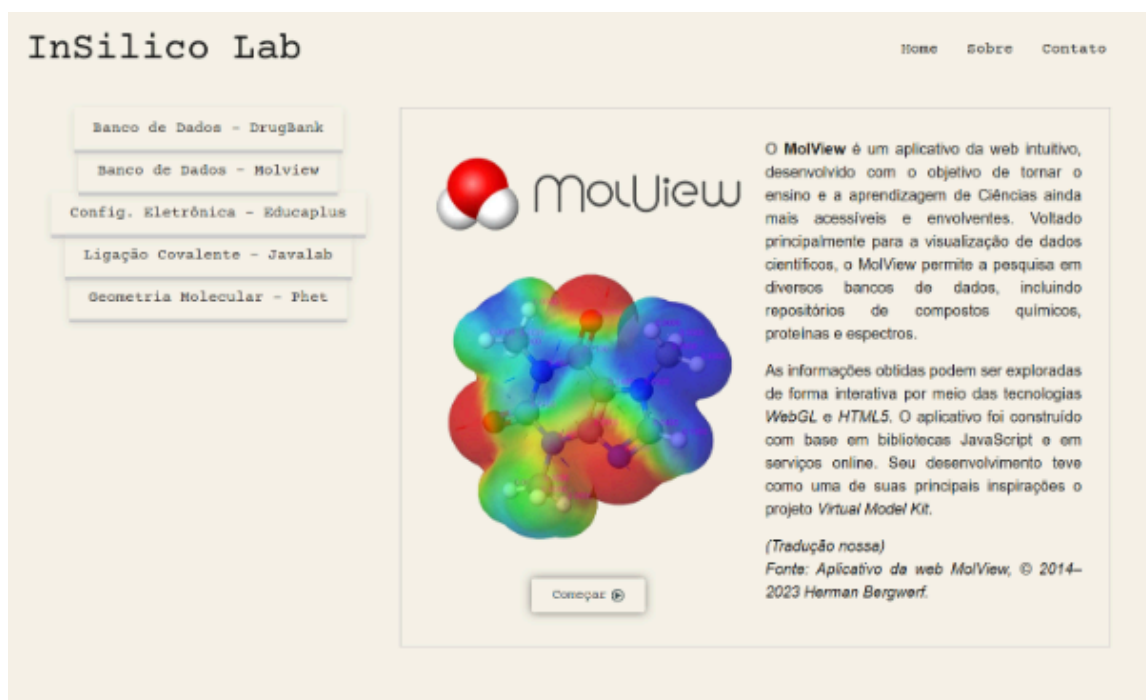
online que permite a visualização de moléculas em 2D e 3D, além de oferecer recursos para análises básicas, como a identificação de grupos funcionais, cálculo de propriedades moleculares e visualização de orbitais eletrônicos.

Figura 6 - Código *Smiles* da Benzilpenicilina obtido no banco de dados *DrugBank*.

| | |
|---------------|---|
| SMILES | <chem>[H][C@]12SC(C)(C)[C@@H](N1C(=O)[C@H]2NC(=O)CC1=CC=CC=C1)C(O)=O</chem> |
|---------------|---|

Fonte: DrugBank. *DrugBank* Online. Disponível em: <https://go.drugbank.com/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

Figura 7 - Link de acesso ao simulador *MolView* no portal *InSilico Lab*.

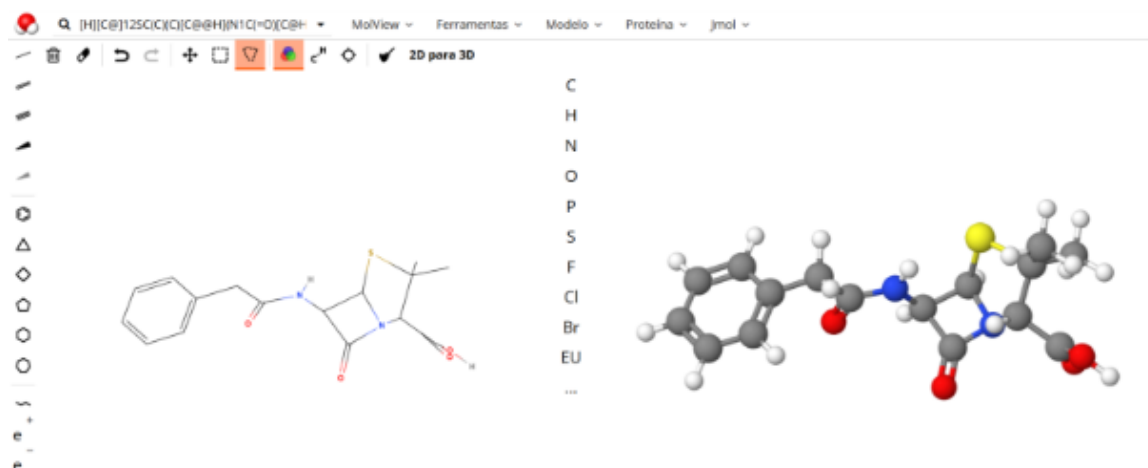


Fonte: O autor. Captura de tela do site <https://insilicolab.rinomiranda.com.br/> (2025).

Ao inserir o código *SMILES* da penicilina benzatina na barra de buscas do *MolView*, obtemos sua estrutura tridimensional completa (Figura 8), com todos os átomos e ligações químicas representados de forma interativa. Essa visualização é essencial para compreender a organização espacial da molécula e suas possíveis interações com alvos

biológicos, aprofundando nossa análise sobre a relação entre estrutura e função no contexto farmacológico.

Figura 8 – Estrutura molecular da penicilina benzatina obtida no simulador *MolView*.



Fonte: MOLVIEW. *MolView – Molecular editor and viewer*. Disponível em: <https://molview.org/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

A partir da análise visual da molécula no *MolView*, os estudantes são convidados a conduzir uma exploração investigativa das características estruturais e eletrônicas da penicilina benzatina. Nesta etapa, não se indicam diretamente quais partes da molécula são responsáveis por sua ação farmacológica. Em vez disso, busca-se promover a observação ativa e o levantamento de hipóteses, estimulando os alunos a identificar propriedades que possam influenciar a reatividade química e a interação com alvos biológicos.

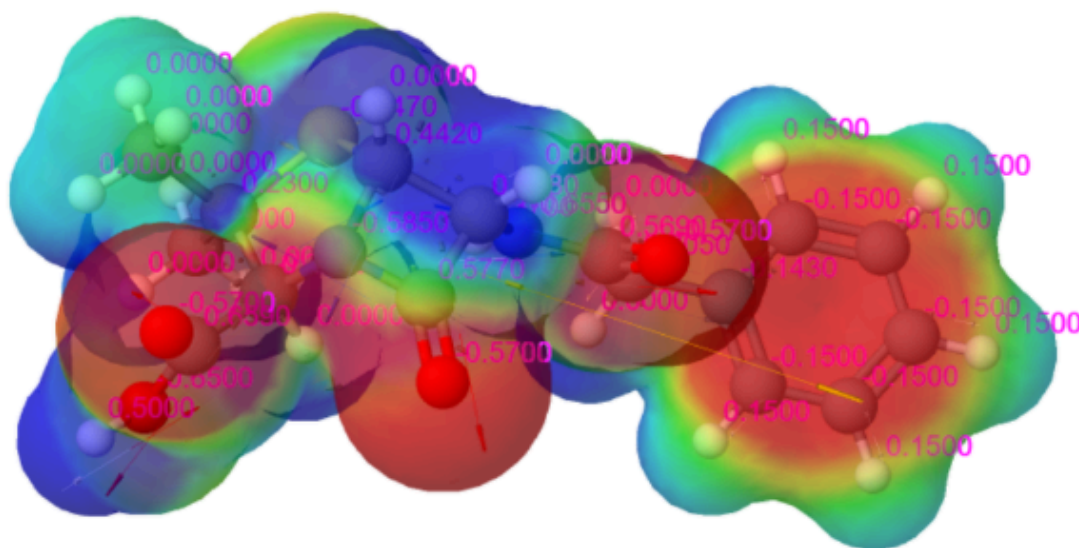
Para apoiar esse processo investigativo, o MolView oferece diversos recursos didáticos interativos. No menu Tools, é possível exportar imagens da estrutura molecular e copiar o código SMILES, o que facilita o registro das observações e a integração com outras ferramentas digitais. No menu Model, os estudantes podem alternar entre diferentes representações tridimensionais, como modelos de bastões ou esferas de van der Waals, que evidenciam aspectos distintos da geometria da molécula. Já no menu Protein, a ferramenta permite modificar o fundo da visualização, recurso útil para destacar

determinadas regiões moleculares e simular ambientes semelhantes aos empregados em modelagem de proteínas.

O destaque, porém, está no menu Jmol, que reúne ferramentas para análises computacionais mais avançadas. Entre os recursos disponíveis, sobressai a geração do mapa de potencial eletrostático (MEP), que indica regiões de maior ou menor densidade eletrônica na molécula, evidenciando áreas de predominância de cargas negativas ou positivas. Além disso, o menu possibilita a visualização de cargas parciais nos átomos, vetores de dipolo de ligação, o dipolo total da molécula, bem como a realização de otimizações de energia e medições geométricas (como distâncias, ângulos e torções).

Apesar de sua versatilidade, observa-se que o MolView ainda carece de estudos acadêmicos que investiguem de forma aprofundada suas potencialidades didáticas. Na literatura recente, a ferramenta aparece pontualmente em trabalhos como apoio à visualização molecular, mas raramente acompanhada de análises mais sistemáticas ou fundamentações pedagógicas. Essa lacuna reforça a importância de sua utilização em propostas educacionais inovadoras, como a que aqui se apresenta, que busca explorar criticamente seus recursos na construção do conhecimento científico pelos estudantes.

Figura 9 - Visualização da superfície de potencial eletrostático penicilina benzatina obtida no simulador *MolView*.



Fonte: MOLVIEW. *MolView – Molecular editor and viewer*. Disponível em: <https://molview.org/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

Esses dados tornam possível uma análise aprofundada da estrutura, permitindo que os estudantes formulem hipóteses sobre quais regiões da molécula são mais suscetíveis a interações químicas. Ao observar padrões de densidade de carga, por exemplo, os alunos podem identificar áreas estruturalmente reativas, mesmo sem conhecimento prévio sobre grupos funcionais específicos. Essa abordagem leva à descoberta ativa de estruturas importantes, como o anel β -lactâmico, essencial para a ação da penicilina. Utilizando os recursos do *MolView*, os estudantes têm a oportunidade de perceber por si mesmos que essa região da molécula apresenta características que a tornam altamente reativa — como a presença de tensões angulares e alta densidade eletrônica local.

Posteriormente, ao compararem suas observações com fontes confiáveis, como o *DrugBank*, especialmente a seção que descreve o mecanismo de ação da substância, os alunos podem validar suas hipóteses e reconhecer que essa mesma região é aquela reconhecida por enzimas bacterianas, como as β -lactamases. Dessa forma, a identificação do anel β -lactâmico não é apresentada como um dado pronto, mas emerge de um processo de investigação ativa.

O mecanismo de ação da benzetacil está relacionado à sua forma ativa, a benzilpenicilina, que é liberada lentamente no organismo graças à formulação em benzatina, garantindo efeito prolongado. Essa substância atua sobre enzimas conhecidas como proteínas ligadoras de penicilina (PBPs), que são responsáveis por realizar a etapa final da construção da parede celular das bactérias. Em termos simples, essas enzimas funcionam como “operários” que ligam entre si as partes da estrutura que protege a célula bacteriana. O anel β -lactâmico — aquela parte da molécula identificada pelos estudantes como mais reativa — interage diretamente com o local ativo dessas enzimas, ligando-se de forma permanente a um aminoácido específico (geralmente a serina). Essa ligação impede que a enzima continue seu trabalho de “colagem” dos tijolos da parede bacteriana. Como resultado, a parede celular não consegue se formar corretamente, tornando a bactéria vulnerável e levando à sua destruição. Essas evidências experimentais e a síntese teórica do mecanismo são descritas por Yocum et al. (1980) e complementadas por revisões mais recentes (Bush, 2016) e compêndios clínicos sobre a benzilpenicilina (StatPearls, 2024).

A Tabela 3 apresenta as funcionalidades de cada ferramenta disponível no Portal *InSilico Lab*, bem como as possibilidades de uso pelos estudantes durante a investigação. Essas ferramentas, ao serem integradas ao processo de análise, ampliam significativamente a compreensão dos fármacos, permitindo que estudantes e professores explorem muito além da fórmula química. Ao reunir diferentes plataformas em um único ambiente digital, o *InSilico Lab* busca promover uma experiência investigativa rica e acessível, conectando de forma integrada os conhecimentos da química, biologia e farmacologia.

Tabela 3 - Funcionalidades das ferramentas disponíveis no Portal *InSilico Lab*.

| Ferramenta | Função Principal | Aplicação na Investigação |
|-----------------|------------------------------------|--|
| <i>DrugBank</i> | Banco de dados de fármacos. | Identificar o princípio ativo, mecanismo de ação, estrutura molecular (via <i>SMILES</i> ou <i>MOL</i>), alvos biológicos e mecanismos de resistência bacteriana. |
| <i>MolView</i> | Visualização e análise molecular. | Inserir estrutura molecular, visualizar em 2D/3D, calcular superfícies de potencial, cargas parciais, ângulos, distâncias, orbitais HOMO/LUMO, interpretar regiões de reatividade. |
| EducaPlus | Simulador de estrutura eletrônica. | Explorar distribuição eletrônica dos elementos presentes na molécula, como carbono, oxigênio, nitrogênio e enxofre, reforçando conceitos de configuração eletrônica e camadas de valência. |

| | | |
|---------|-----------------------------------|---|
| JavaLab | Simulador de ligações químicas. | Visualização de estruturas de Lewis, observar o compartilhamento de pares de elétrons e entender como os átomos se conectam para formar moléculas estáveis. Isso permite relacionar o tipo de ligação formado com a presença de pares de elétrons disponíveis, eletronegatividade dos elementos envolvidos e a estrutura final da substância. |
| PhET | Simulador de geometria molecular. | Visualizar geometria ao redor de átomos da molécula, explorar modelos VSEPR, compreender a organização tridimensional e os ângulos de ligação. |

Fonte: O autor (2025)

4.5.3 Etapa 3 – Aplicação do Conhecimento: Proposta de intervenção ou comunicação científica sobre o uso de fármacos

Objetivo:

Aplicar os conhecimentos adquiridos em novos contextos, estimulando a capacidade crítica, criativa e interventiva dos estudantes frente a questões científicas e sociais relacionadas ao uso de fármacos.

Propostas de atividades (a ser escolhida por cada grupo):

- Criação de materiais educativos sobre o uso responsável de medicamentos (vídeos, cartazes, podcasts);
- Simulação de uma campanha de saúde escolar abordando temas como automedicação e desinformação científica;
- Estudo de caso envolvendo efeitos colaterais de medicamentos ou resistência bacteriana;
- Elaboração de um mapa conceitual representando a interação entre um fármaco e seu alvo biológico.

Metodologia:

- Organização dos estudantes em grupos colaborativos;
- Uso opcional de ferramentas digitais para produção dos materiais;
- Apresentação dos trabalhos à turma ou à comunidade escolar;
- Realização de uma roda de conversa final para compartilhamento de reflexões e autoavaliação do processo.

Avaliação:

Serão considerados os seguintes critérios: clareza conceitual, criatividade, aplicabilidade dos conteúdos trabalhados e relevância social da proposta desenvolvida.

Considerações finais:

Esta etapa da sequência didática tem como objetivo promover a integração entre os conhecimentos científicos e os contextos reais vivenciados pelos estudantes, estimulando o desenvolvimento da autonomia intelectual, da criatividade e do protagonismo no processo de aprendizagem. Ressalta-se que a avaliação dessa proposta por professores de Química é fundamental para seu aperfeiçoamento contínuo e para a validação de sua eficácia pedagógica.

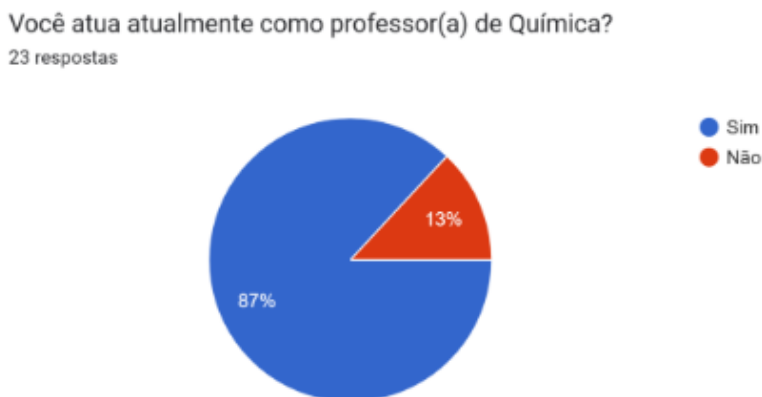
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da Sequência Didática

A avaliação da sequência didática foi realizada por 23 professores, que tiveram acesso ao material proposto e, em seguida, responderam a um questionário por meio de um formulário eletrônico, elaborado no Google Formulários. Essa etapa teve como objetivo coletar percepções e sugestões dos docentes quanto à aplicabilidade, clareza, potencial pedagógico e possíveis melhorias da proposta.

Dos professores participantes da pesquisa, 87% declararam atuar como docentes de Química, o que reforça a pertinência e a validade das respostas obtidas, uma vez que estão diretamente alinhadas ao público-alvo da sequência didática proposta neste trabalho, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Gráfico da resposta à pergunta: Você atua atualmente como professor(a) de Química?

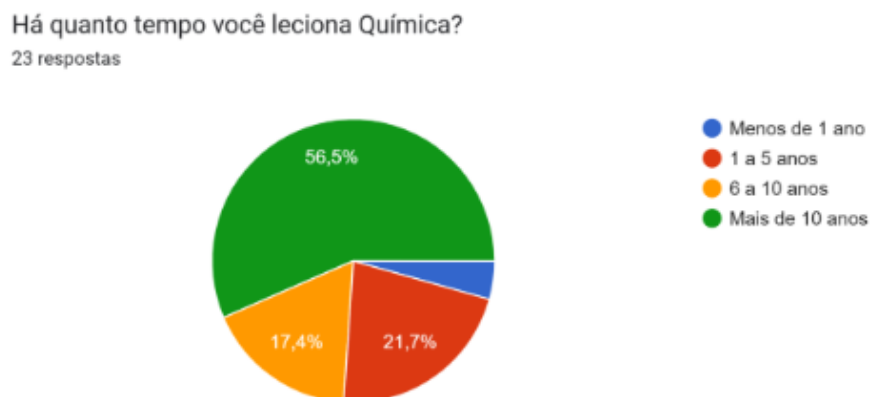


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Formulários (2025).

Quanto ao tempo de atuação docente, a maioria dos participantes (56,5%) leciona Química há mais de 10 anos, o que demonstra ampla experiência na área. Outros 21,7% possuem entre 1 e 5 anos de atuação, enquanto 17,4% indicaram entre 6 e 10 anos de experiência. Esses dados revelam um perfil diversificado de profissionais, com

predominância de docentes experientes, o que confere maior solidez às análises e às contribuições oferecidas na avaliação da proposta, conforme exposto na Figura 11.

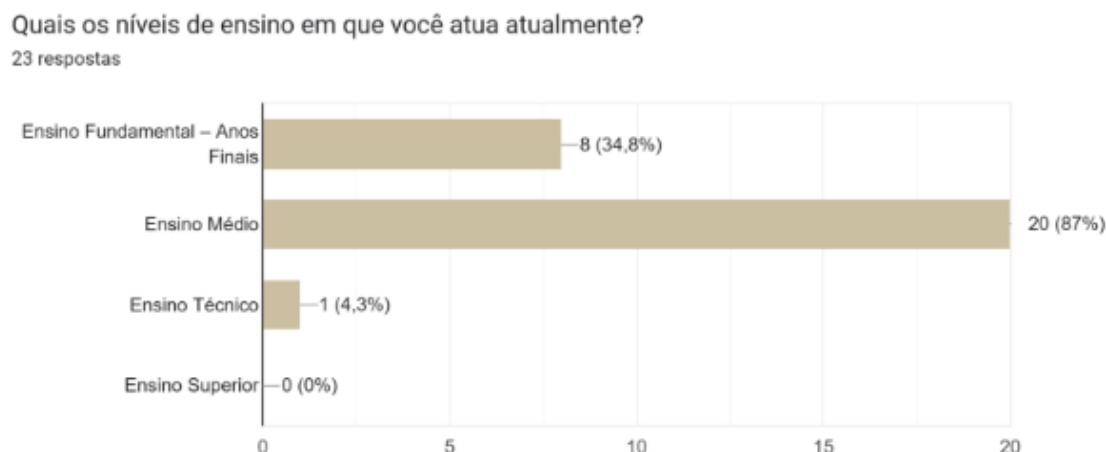
Figura 11 - Gráfico da resposta à pergunta: “Há quanto tempo você leciona Química?”



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Formulários (2025).

Em relação aos níveis de ensino em que os participantes atuam, observa-se que a maioria leciona no Ensino Médio (87%), público diretamente alinhado ao foco desta sequência didática. Ademais, 34,8% dos docentes atuam nos anos finais do Ensino Fundamental e 4,3% no Ensino Técnico. Esses dados indicam que uma parcela significativa dos respondentes possui experiência em diferentes segmentos da Educação Básica, conferindo maior abrangência e contextualização à avaliação da proposta didática, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Gráfico da resposta à pergunta: Quais os níveis de ensino em que você atua atualmente?

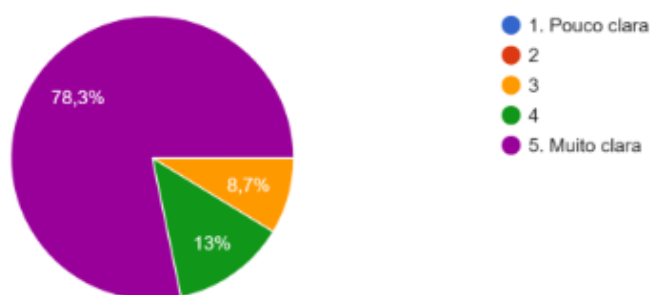


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Formulários (2025).

Quando questionados sobre a clareza e coerência da proposta de sequência didática, os participantes atribuíram notas em uma escala de 1 (pouco clara) a 5 (muito clara). A maioria expressiva dos respondentes (78,3%) atribuiu nota 5, indicando que consideraram a proposta muito clara e coerente. Outros 13% atribuíram nota 4, enquanto 8,7% avaliaram com nota 3. Nenhum participante selecionou as notas 1 ou 2, o que evidencia a ausência de percepções significativamente negativas em relação à apresentação da proposta. Esses resultados reforçam a qualidade da elaboração e da comunicação da sequência didática, além de indicarem sua boa recepção por parte dos docentes avaliadores, especialmente no que se refere à organização didática e à clareza metodológica, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Gráfico da resposta à pergunta: A proposta da sequência foi apresentada de forma clara e coerente?

A proposta da sequência didática foi apresentada de forma clara e coerente? (escala de 1 a 5)
23 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Formulários (2025).

Com base nas respostas abertas à pergunta: “A temática dos fármacos articulada às propriedades eletrônicas da matéria é adequada para o ensino de Química?”, descritas na Tabela 4, foi realizada uma análise qualitativa das percepções dos docentes participantes. O objetivo foi identificar padrões argumentativos e compreender como essa abordagem é percebida no contexto escolar, especialmente no Ensino Médio.

Percepção Geral

A totalidade dos participantes respondeu afirmativamente ou sinalizou concordância clara com a adequação da temática, evidenciando uma recepção amplamente positiva. Tal resultado reforça a aceitação e a relevância da proposta no contexto do ensino de Química, especialmente por tratar-se de um conteúdo contextualizado e interdisciplinar.

Eixos de Argumentação Identificados:

- Contextualização e Cotidiano

🌐 Diversos docentes destacaram que a abordagem dos fármacos aproxima os conteúdos da realidade dos estudantes, promovendo maior engajamento e

interesse pelas aulas. A materialização de conceitos abstratos por meio de exemplos cotidianos foi apontada como uma estratégia eficaz para tornar o ensino mais significativo:

- “Traz materialidade ao conteúdo estudado ao aproximar conceitos químicos da realidade do estudante.”
- “Fármacos fazem parte do cotidiano dos estudantes, o que pode gerar mais interesse pelo conteúdo.”

- Interdisciplinaridade

🌐 A proposta também foi reconhecida por integrar conhecimentos de diferentes áreas, como Biologia, Química e Ciências da Saúde. Esse caráter interdisciplinar foi percebido como enriquecedor para a aprendizagem, promovendo conexões entre saberes escolares:

- “Tem conotação interdisciplinar e desenvolve de maneira ativa a aprendizagem.”
- “Deve ser abordado com a ajuda dos conhecimentos biológicos.”

- Exploração de Conceitos Químicos Abstratos

🌐 Outro ponto destacado foi o potencial da proposta para abordar conceitos tradicionalmente considerados difíceis, como estrutura eletrônica e reatividade molecular, de maneira mais concreta e acessível:

- “Entender as propriedades eletrônicas é um estudo mais profundo para compreender como o fármaco atua.”

- Uso de Tecnologias e Recursos Visuais

● O uso de recursos digitais, como o *MolView*, foi valorizado pelos professores como um facilitador do processo de ensino-aprendizagem. As ferramentas de visualização molecular permitem a construção de representações mentais mais claras, fundamentais para o entendimento da estrutura e função dos compostos químicos:

■ “Integra a Química com recursos tecnológicos de visualização.”

- Sugestões de Expansão Temática

● Alguns docentes sugeriram possíveis ampliações da abordagem, como a inserção de temáticas complementares (ex.: descarte correto de medicamentos, ação de enzimas, impacto ambiental de fármacos), o que reforça o caráter dinâmico e adaptável da proposta:

■ “A situação-problema poderia focar em como o medicamento atua no organismo.”

■ “Poderia também abordar o descarte correto de medicamentos.”

Considerações

As contribuições dos docentes revelam que a temática dos fármacos articulada às propriedades eletrônicas da matéria é não apenas pertinente, mas também promissora para o ensino de Química. A proposta foi amplamente reconhecida por favorecer uma aprendizagem ativa, crítica e contextualizada, alinhando-se aos princípios da BNCC e aos desafios da prática docente contemporânea.

Esses resultados fortalecem a validade pedagógica da sequência didática desenvolvida e indicam seu potencial para promover uma educação científica significativa, conectada ao cotidiano e às demandas formativas dos estudantes.

Tabela 4 - Respostas abertas dos professores à pergunta: “A temática dos fármacos articulada às propriedades eletrônicas da matéria é adequada para o ensino de Química?”

| |
|---|
| Sim, muito adequada pois traz materialidade ao conteúdo estudado ao aproximar conceitos químicos a realidade do estudante. |
| Sim, pois é um tema do cotidiano dos alunos, então trazer conceitos da química abordando diversos aspectos como estrutura eletrônica e propriedades das substâncias bem como atividades biológicas traz uma conotação interdisciplinar e desenvolve de maneira ativa a aprendizagem nos educandos. Além do fato que se integra a química com recursos tecnológicos de visualização. |
| Muito. Compreender o que são e de que forma agem no nosso organismo é extremamente interessante. |
| Sim |
| Sim |
| Sim |
| Sim, especialmente no ensino médio. |
| Muito adequada. Hoje em dia, a produção de fármacos tem sido comum pelas redes sociais e telejornais. Entender as propriedades eletrônicas é um estudo mais profundo para a compreensão de como aquele fármaco atua no organismo. Além disso, é uma temática que está intrinsecamente com a química. |
| Sim |
| Sim |
| sim, um aspecto bem interessante e contextualizado. |
| Sim |
| Sim, porque associa de forma contextualizada os conceitos químicos ao cotidiano do estudante. |
| Sim... É uma contextualização muito boa e que pode provocar um interesse nos estudantes, além disso, as propriedades estarem diretamente ligadas ao conteúdo. |
| Sim |

| |
|---|
| Com certeza. A contextualização é uma excelente ferramenta na transmissão do conhecimento químico. |
| Sim, porque os alunos também irão conhecer melhor as estruturas dos medicamentos e como eles funcionam em seu organismo. |
| Os fármacos fazem parte do cotidiano dos estudantes, então isso pode gerar mais interesse pelo conteúdo. |
| Sim, a interdisciplinaridade deste conteúdo deve ser abordado em química dessa forma com a ajuda dos conhecimentos biológicos para explicar questões do cotidiano, sobre o uso de alguns medicamentos e para se combater a automedicação. |
| Sim, é uma temática bastante relevante. |
| Sim, é uma temática bastante relevante. Mas creio que a situação problema poderia focar em como o medicamento atua no organismo (com o intuito em despertar o interesse do aluno) e seria interdisciplinar pois iria atrelar ao estudo mesmo que superficial das enzimas. Ou focar no descarte correto de medicamentos, poluição e tratamento das águas, modificação da sexualidade de peixes pelos medicamentos hormonais... |
| A abordagem dos fármacos integra a Química, a uma situação presente na rotina de toda a comunidade escolar, que é o uso de medicamentos. Poder integrar conceitos inicialmente abstratos a realidade dos alunos e poder exemplificar através dos recursos digitais é relevante e adequado. |
| Sim |

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Formulários (2025).

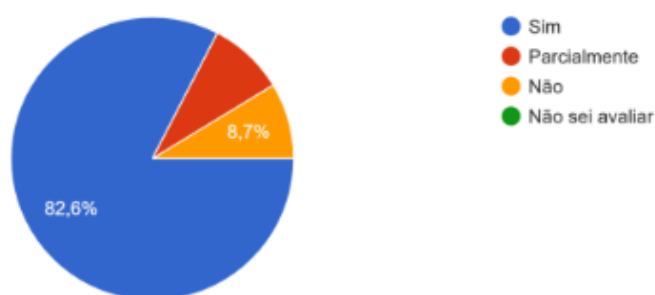
Quando questionados sobre a adequação do uso da metodologia PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas) na proposta apresentada, 82,6% dos docentes responderam “sim”, indicando que consideram a abordagem pertinente e bem aplicada ao contexto da sequência didática. Outros 8,7% responderam “não”, enquanto 8,7% avaliaram a aplicação como parcialmente adequada. Esses resultados evidenciam uma alta taxa de aceitação da metodologia por parte dos avaliadores, sugerindo que a proposta está alinhada aos princípios da aprendizagem ativa e investigativa. As respostas parciais ou negativas indicam a existência de espaço para ajustes pontuais na estruturação do

problema ou na condução da atividade, visando potencializar ainda mais a efetividade da estratégia pedagógica, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Gráfico da resposta à pergunta: Você considera que o uso do PBL foi adequado na proposta apresentada?

Você considera que o uso do PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas) foi adequado na proposta apresentada?

23 respostas





Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Formulários (2025).

A segunda pergunta aberta foi: “A sequência contempla habilidades importantes segundo a BNCC e estimula o desenvolvimento cognitivo dos estudantes? Explique brevemente.” Todas as respostas foram afirmativas (Tabela 5), e as justificativas apresentadas puderam ser agrupadas em cinco categorias principais, conforme descrito a seguir.

- Alinhamento com a BNCC e documentos oficiais

👤 Vários docentes mencionaram explicitamente a correspondência da proposta com as competências e habilidades previstas na BNCC, especialmente no que se refere à contextualização, uso de tecnologias e abordagem por temas contemporâneos.

- “Sim. O fato de permitir visualizar, reconhecer, identificar, aplicar, confrontar e relacionar abrange com as posturas da BNCC.”

- “Sim, especialmente considerando a habilidade 3 da BNCC, que fala da contextualização e o uso de recursos digitais.”
 - “Sim, pois pode se utilizar como tema gerador para observação dos conhecimentos prévios dos estudantes [...] como é sugerido pelos documentos norteadores da educação (BNCC, PCN...).”
- Estímulo ao desenvolvimento cognitivo, pensamento crítico e protagonismo
 -  Diversas respostas apontam que a sequência favorece o desenvolvimento de competências cognitivas superiores, como análise, síntese, raciocínio crítico e tomada de decisões, além de promover o protagonismo estudantil.
 - “Sim. Ela capacita os estudantes a pensar de forma mais complexa e interconectada sobre o papel da ciência e da tecnologia em suas vidas.”
 - “Não só o desenvolvimento cognitivo, mas também o pensamento crítico, colaboração.”
 - “Isso, pois visa o processo de protagonismo dos alunos, já que as características deste estudantes são empíricas, de mão na massa.”
- Uso de metodologias ativas e recursos tecnológicos
 -  O uso de metodologias ativas, como o PBL, e o emprego de ferramentas computacionais foram destacados como elementos centrais que tornam a proposta inovadora e motivadora.
 - “Sim, gostei porque ela usa metodologias ativas.”
 - “Sim, principalmente no que diz respeito ao uso de metodologias ativas e ao uso de recursos tecnológicos.”

- “Pois a BNCC traz aspectos da química moderna como química quântica e computacional [...], fazendo uso de ferramentas computacionais e química farmacêutica [...].”
- Contextualização por meio do tema dos fármacos
 - O uso dos fármacos como tema gerador foi amplamente reconhecido como um fator de contextualização e aproximação com o cotidiano dos estudantes.
 - “Sim, porque foge dos aspectos representacionais e é relacionado com algo comum do cotidiano, no caso dos fármacos.”
 - “Contempla quando traz os fármacos e contextualiza e utiliza recursos que estimulam o desenvolvimento.”
 - “A produção, uso e descarte de fármacos levantam questões éticas e ambientais importantes [...].”
- Limitações contextuais para aplicação
 - Apenas um dos participantes manifestou uma observação crítica, ressaltando limitações contextuais para a aplicação da proposta em sua realidade escolar.
 - “A sequência contempla as habilidades da BNCC, no entanto, o entendimento do assunto por parte dos estudantes [...] não corrobora para estimulá-los. [...] Ressalta a dificuldade na aplicação da mesma.”

Considerações

A análise das respostas abertas evidencia que os professores avaliaram positivamente a sequência didática, reconhecendo sua coerência com a BNCC e seu

potencial para estimular o desenvolvimento cognitivo e crítico dos estudantes. O uso de metodologias ativas, tecnologias educacionais e a contextualização por meio do tema dos fármacos foram destacados como aspectos centrais para a motivação e o engajamento dos alunos. A única ressalva aponta para desafios contextuais de aplicação em ambientes com limitações tecnológicas e com estudantes que apresentam dificuldades na abstração de certos conteúdos.

Tabela 5 - Respostas abertas dos professores à pergunta: “A sequência contempla habilidades importantes segundo a BNCC e estimula o desenvolvimento cognitivo dos estudantes? Explique brevemente.”

| |
|---|
| Sim |
| Certamente. Pois a BNCC traz aspectos da química moderna como química quântica e computacional, bem como aspectos da química medicinal. Então essa abordagem baseada em problema fazendo uso de ferramentas computacionais e química farmacêutica é atual e estimulante para os estudantes que fazem uso de drogas medicinais. Então, está no contexto deles. |
| Sim, principalmente no que diz respeito ao uso de metodologias ativas e ao uso de recursos tecnológicos |
| Contempla quando traz os fármacos e contextualiza e utiliza recursos que estimula o desenvolvimento |
| Isso, pois visa o processo de protagonismo dos alunos, já que as características deste estudantes são empíricas, de mão na massa. |
| Sim, gostei por que ela usa metodologias ativas |
| Sim. Ela capacita os estudantes a pensar de forma mais complexa e interconectada sobre o papel da ciência e da tecnologia em suas vidas. |
| Sim. O fato de permitir visualizar, reconhecer, identificar, aplicar, confrontar e relacionar abrange com as propostas da BNCC. |
| importante para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes porque ela organiza o processo de ensino-aprendizagem de forma estratégica, promovendo a construção do conhecimento de maneira mais eficaz e significativa. Ao planejar atividades articuladas e |

| |
|--|
| progressivas, o professor consegue envolver os alunos de forma ativa, estimulando a participação e o raciocínio, além de permitir a avaliação constante do aprendizado. |
| Sim |
| sim, porque foge dos aspectos representações e é relacionado com algo comum do cotidiando, no caso dos fármacos. |
| É didática e clara |
| Sim, especialmente considerando a habilidade 3 da BNCC, que fala da contextualização e o uso de recursos digitais. |
| Sim... Ela estimula a participação dos estudantes ativamente, o que é essencial para a construção do conhecimento. |
| Sim |
| Sim, pois direciona os estudantes para um pensamento crítico e responsável. |
| Sim, os alunos poderão analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais,cotidianas, tecnológicas e etc..) |
| A produção, uso e descarte de fármacos levantam questões éticas e ambientais importantes. Isso se encaixa no que o estudante se depara em seu cotidiano. A questão da automedicação, por exemplo, está alinhado às questões sobre a importância sobre a interpretação de um texto científico e conhecer os processos tecnológicos sobre a produção de um medicamento. |
| Sim. A sequência foi muito bem elaborada buscando conhecimentos prévios, construindo uma linha história mostrando ao aluno de onde surgiu até como o fármaco age, podendo ser visto de uma forma geométrica. |
| Não só o desenvolvimento cognitivo, mas também o pensamento crítico, colaboração. |
| Sim, pois pode ser utilizar como tema gerador para observação dos conhecimentos prévios dos estudantes e a partir desses pode-se aprimorar e nortear a sequência de ensino aprendizagem para sanar os conhecimentos errôneos, bem como lecionar diversos assuntos da químicas com assuntos que fazem parte do cotidiano dos estudantes, como é sugerido pelos documentos norteadores da educação (BNCC, PCN...). |

A sequência contempla as habilidades da BNCC, no entanto, o entendimento do assunto por parte dos estudantes, haja vista a abstração do tema, não corrobora para estimulá-los. Avaliando ainda a defasagem de conhecimento no uso da tecnologia computacional, na comunidade escolar que atuo, ressalta a dificuldade na aplicação da mesma.

Sim

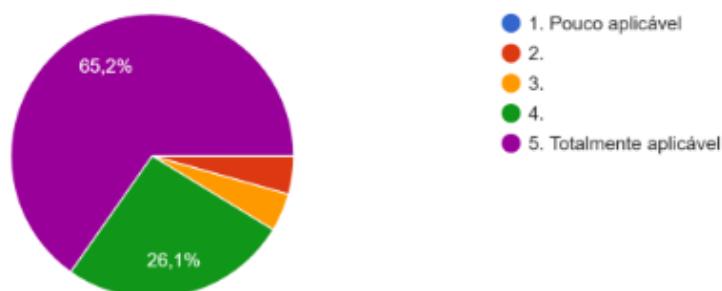
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Formulários (2025).

Com relação ao grau de aplicabilidade da sequência didática em seus contextos escolares, utilizando uma escala de 1 (pouco aplicável) a 5 (totalmente aplicável). Os resultados revelam que 65,2% dos respondentes atribuíram nota 5, indicando que consideram a proposta altamente aplicável à sua realidade profissional. Outros 26,1% atribuíram nota 4, também demonstrando boa receptividade. As notas mais baixas foram pouco expressivas: 4,35% atribuíram nota 2 e 4,35% nota 3, enquanto nenhum participante marcou a opção 1.

Esses dados (Figura 15) indicam uma alta aceitabilidade e aplicabilidade da proposta no cotidiano escolar dos docentes avaliadores. Ainda que minoritariamente, os registros de notas mais baixas podem estar associados a especificidades de infraestrutura ou perfil dos estudantes, o que será aprofundado nas análises qualitativas.

Figura 15 - Gráfico da resposta à pergunta: Qual o grau de aplicabilidade dessa sequência didática no seu contexto escolar?

Qual o grau de aplicabilidade dessa sequência didática no seu contexto escolar? (escala de 1 a 5)
23 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Formulários (2025).

Por fim, os professores foram convidados a responder, de forma aberta, à pergunta: “Você tem sugestões para aprimorar essa proposta didática?”. A maioria das respostas foi positiva e não apresentou sugestões de modificação, o que indica uma ampla aceitação da proposta (Tabela 6). No entanto, algumas contribuições construtivas emergiram, permitindo identificar pontos de possível aprimoramento. As respostas foram agrupadas em quatro categorias principais:

- Reconhecimento da qualidade e da completude da proposta

- A maior parte dos participantes destacou que a sequência está bem elaborada, estruturada e pertinente, e afirmaram não ter sugestões de melhoria.

- “Foi muito bem elaborada e aborda conceitos primordiais para a construção do conhecimento químico.”
- “A proposta é excelente. Sem sugestões.”
- “Achei muito boa e não acrescentaria mais nada. Seria aplicada como está.”
- “Não apresentaria nenhuma sugestão de melhoria, no entanto, achei bastante aplicável ao ensino médio técnico em Química.”
- “Ela contém uma riqueza de detalhes muito bem pensados para não deixar dúvidas aos alunos.”

- Sugestões de aprofundamento metodológico e avaliação

- Alguns professores sinalizaram dúvidas ou sugestões sobre a etapa final, especialmente no que diz respeito à clareza da avaliação das diferentes produções (mapa conceitual, estudo de caso, etc.) e à ausência explícita da problematização, que é elemento central no PBL.

- “A etapa que os alunos ficam livres para escolher se vão fazer mapa conceitual, estudo de caso etc., são formas muito distintas de avaliar.”
 - “O estudo de caso não fica claro: eles que desenvolveriam ou você aplicaria?”
 - “Não vejo a PBL, onde que a problematização entra? Será nos momentos de aula teórica?”
 - “Senti falta do problema a ser resolvido, já que se fala da ABP [...]”
- Integração com práticas experimentais e visitas técnicas
 - 🌐 Dois participantes sugeriram a inserção de práticas em laboratório, o que pode contribuir para uma abordagem mais concreta e vivencial dos conceitos trabalhados.
 - “Associar sempre que possível à prática em laboratórios externos.”
 - “Sim, visitar um laboratório de pesquisa farmacológico.”
- Ajustes didáticos e organizacionais
 - 🌐 Houve ainda sugestões pontuais voltadas à diversificação dos recursos didáticos e à gestão do tempo de aplicação da sequência.
 - “A produção de infográficos pelos estudantes seria uma boa alternativa para resumir as interações e propriedades das substâncias.”
 - “Acho que o tempo deve ser observado, pois quando uma sequência envolve um tema importante talvez possa ultrapassar uma ou duas aulas.”

Considerações

As respostas evidenciam um alto grau de aceitação da proposta, sendo que a maioria dos professores não identificou aspectos que exigissem aprimoramento. Ainda assim, as sugestões recebidas são valiosas e apontam para possibilidades de refinamento, especialmente no que se refere à clareza da problematização na abordagem PBL, à avaliação equitativa de diferentes tipos de produção estudantil, e à exploração de experiências práticas e laboratoriais como forma de tornar o processo ainda mais significativo.

Tabela 6 - Respostas abertas dos professores à pergunta: “Você tem sugestões para aprimorar essa proposta didática?”

| |
|--|
| Foi muito bem elaborada e aborda conceitos primordiais para a construção do conhecimento químico. |
| Em minha avaliação, a sequência didática empregada nesse estudo está muito bom. Então não ousaria tentar aprimorar esse modelo. |
| A proposta é excelente. Sem sugestões |
| A etapa que os alunos ficam livre pra escolher se vão fazer mapa conceitual, estudo de caso etc... Achei que são formas muito distintas de avaliar o estudo de caso não fica claro se eles que desenvolveria ou se você aplicaria neles, não vejo a PBL onde que a problematização entra? Será nos momentos de aula teórica? |
| Associar sempre quando possível à prática em laboratórios externos. |
| Não |
| Ela está muito bem estruturada, acredito que a produção de infográficos pelos estudantes seria uma boa alternativa para resumir as interações e propriedades das substâncias em algum momento da SD. |
| Achei a proposta muito interessante e diferente de outras que trabalham com o tema central. Ela é mais completa e o uso de ferramentas que permitem criar as moléculas e interagir melhor faz toda a diferença. Parabéns pela proposta. |
| Não |
| Não |

| |
|--|
| achei bem coerente, talvez aplicando eu veria mais facilidade ou dificuldade |
| Achei muito boa e não acrescentaria mais nada seria aplicada como está |
| Não, por acreditar que ela atende aos objetivos que foram proposto. |
| Não |
| Não |
| O tema é riquíssimo em informações relevantes para o ensino de química. Durante o desenvolvimento da sequência poderia inserir outros conteúdos de química como, por exemplo, funções orgânicas, isomeria e reações. |
| Sim, visitar um laboratório de pesquisa farmacológico. |
| Acho que o tempo deve ser observado, pois quando uma sequência envolve um tema importante talvez possa ultrapassar uma ou duas aulas. |
| Não. Achei ótima sua sequência. Ela contém uma riqueza de detalhes muito bem pensados para não deixar dúvidas aos alunos. |
| Senti falta do problema a ser resolvido, já que se fala da ABP, dessa forma, no meu ver, ampliaria as habilidades para resolução de problemas. Quando eles se pensam pra resolver problemas, eles levam para a vida. |
| Sugeri em questões anteriores. |
| Não apresentaria nenhuma sugestão de melhoria, no entanto, achei bastante aplicável ao ensino médio técnico em Química. Para o ensino médio regular, temo não conseguir atingir os objetivos propostos. |
| Não |

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Formulários (2025).

6. CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como propósito conceber, implementar e avaliar uma sequência didática sobre fármacos, ancorada em metodologias ativas e na integração de tecnologias digitais, com vistas a promover uma aprendizagem significativa, crítica e contextualizada no ensino de Química. A proposta articulou os Três Momentos Pedagógicos à Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), inserindo o portal *InSilico Lab* como ambiente virtual de aprendizagem colaborativa.

Os resultados obtidos junto aos professores validadores evidenciam a pertinência e a aplicabilidade da proposta, destacando sua clareza metodológica, capacidade de contextualização de conceitos abstratos e contribuição para o protagonismo discente. A sequência didática mostrou-se não apenas inovadora, mas também replicável e adaptável a diferentes realidades escolares, fortalecendo a relação entre teoria e prática, ciência e sociedade.

Entretanto, reconhecem-se algumas limitações, entre elas os desafios inerentes à infraestrutura tecnológica das escolas públicas e à complexidade conceitual envolvida no uso de simulações computacionais, especialmente em contextos marcados por desigualdades de acesso e formação tecnológica. Tais aspectos reforçam a importância de políticas educacionais voltadas à democratização do acesso digital e à formação docente contínua.

Como desdobramentos futuros, propõe-se a ampliação da sequência didática por meio da incorporação de atividades experimentais e visitas técnicas, bem como o aprofundamento de temáticas relacionadas, como o descarte consciente de medicamentos e os impactos ambientais da indústria farmacêutica. Além disso, recomenda-se a realização de estudos que avaliem o impacto direto da proposta na aprendizagem dos estudantes, de modo a subsidiar ajustes e contribuir com o aperfeiçoamento das práticas pedagógicas no ensino de Ciências.

Assim, espera-se que esta pesquisa possa contribuir com a construção de uma educação química mais crítica, emancipadora e conectada às demandas do século XXI, na

qual o estudante seja agente ativo do processo de aprendizagem e o professor, mediador reflexivo capaz de integrar saberes científicos, tecnológicos e humanistas em sua prática docente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Josyane Barros; FREITAS, Nadia Magalhães da Silva. PROPOSIÇÕES DE INOVAÇÃO DIDÁTICA NA PERSPECTIVA DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS: TENSÕES DE UM PROCESSO FORMATIVO. **Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, e2734, 2017.

ALBA, Juliana; SALGADO, Tania Denise Miskinis; DEL PINO, José Cláudio. ESTUDO DE CASO: UMA PROPOSTA PARA ABORDAGEM DE FUNÇÕES DA QUÍMICA ORGÂNICA NO ENSINO MÉDIO. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, vol 6, nº 2, mai-ago. 2013.

ANGOTTI, José André Peres. ENSINO DE FÍSICA COM TDIC. 1ª ed. Florianópolis: **UFSC - EAD - CED - CFM**, 2015. ISBN: 978-85-8030-039-0.

BACICH, Lilian; MORAN, José (Orgs.). METODOLOGIAS ATIVAS PARA UMA EDUCAÇÃO INOVADORA: UMA ABORDAGEM TEÓRICO-PRÁTICA. Porto Alegre: **Penso**, 2018. ISBN 978-85-8429-116-8.

BARACHO, Renata Maria Abrantes; FREITAS JUNIOR, Carlos Alberto de. EDUCAÇÃO 3.0: A EDUCAÇÃO DA 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL. **Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia**, João Pessoa, v. 14, n. 1, p. 22-30, 2019.

BARREIRO, Eliezer J. SOBRE A QUÍMICA DOS REMÉDIOS, DOS FÁRMACOS E DOS MEDICAMENTOS. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, Nº 3, maio 2001.

BOEHR DD, NUSSINOV R, WRIGHT PE. THE ROLE OF DYNAMIC CONFORMATIONAL ENSEMBLES IN BIOMOLECULAR RECOGNITION. **Nat Chem Biol**. 2009 Nov;5(11):789-96. doi: 10.1038/nchembio.232. Erratum in: **Nat Chem Biol**. 2009 Dec;5(12):954. PMID: 19841628; PMCID: PMC2916928.

BRUNO, Adriana Rocha. CULTURA DIGITAL E EDUCAÇÃO ABERTA: AS CURADORIAS DIGITAIS COMO INTER E INTRAFACES DO ENSINO HÍBRIDO. **Trabalho & Educação**, v. 28, n. 1, p. 115-126, jan.-abr. 2019.

BUSH K, BRADFORD PA. B-LACTAMS AND B-LACTAMASE INHIBITORS: AN OVERVIEW. **Cold Spring Harb Perspect Med**. 2016 Aug 1;6(8):a025247. doi: 10.1101/cshperspect.a025247. PMID: 27329032; PMCID: PMC4968164.

CAIRES, Bruno Florencia; LIMA, Adriano Machado; DE MOURA, Renan Gomes. A REVOLUÇÃO 4.0 NA EDUCAÇÃO: UMA DISCUSSÃO TEÓRICA. **Revista Valore**, [S. l.], v. 4, p. 150–156, 2021. DOI: 10.22408/rev402019693150-156. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/693>. Acesso em: 20 set. 2025.

COSTA, Carolina Mendes de Albuquerque dos Santos. PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA VISANDO O TEMA DE FÁRMACOS E AUTOMEDICAÇÃO. 2022. 113 f. **Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) – Universidade Federal Fluminense**, Volta Redonda, 2022.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria Castanho Almeida. ENSINO DE CIÊNCIAS: FUNDAMENTOS E MÉTODOS. São Paulo: **Cortez**, 2002.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. FÍSICA. São Paulo: **Cortez**, 1991.

DIESEL, Aline; BALDEZ, Alda Leila Santos; MARTINS, Silvana Neumann. OS PRINCÍPIOS DAS METODOLOGIAS ATIVAS DE ENSINO: UMA ABORDAGEM TEÓRICA. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, 2017.

DIONÍZIO, T.P.; SILVA, F.P.Da; DIONÍZIO.D. P.; CARVALHO.D.M. O USO DE TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL ALIADA AO ENSINO DE QUÍMICA. **EaD em Foco**, V9, e804. 2019. doi: <https://doi.org/10.18264/eadf.v9i1809>

DRUGBANK. **DrugBank Online**. EDMONTON: THE METABOLOMICS INNOVATION CENTRE, 2025. Disponível em: <https://go.drugbank.com/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

FELCHER, C. D. O.; FOLMER, V. EDUCAÇÃO 5.0: REFLEXÕES E PERSPECTIVAS PARA SUA IMPLEMENTAÇÃO. **Revista Tecnologias Educacionais em Rede (ReTER)**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. e5/01–15, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reter/article/view/67227>. Acesso em: 20 set. 2025.

FERRO, Emer Suavinho; REIS, Ricardo Augusto de Melo; FREITAS, Hércules Rezende. UMA BREVE HISTÓRIA DO ESTUDO DOS FÁRMACOS E OS GANHADORES DO NOBEL. **Neurociências & Sociedade**, Niterói, v. 1, n. 2, e224008, 2024.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Orgs.). MÉTODOS DE PESQUISA. Porto Alegre: **Editora da UFRGS**, 2009. 120 p. (Série Educação a Distância).

GONÇALVES, Raoni Schroeder Borges; BRUM, André Luis Silveira. "ELABORAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA UTILIZANDO-SE O TEMA GERADOR FÁRMACOS PARA O ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA NO ENSINO MÉDIO". In: **Anais do SimPROFQUI e Workshop do PROFQUI UFAL**. Anais. Maceió(AL) UFAL, 2022.

GIORDAN, M; GUIMARÃES, Y. A. F.; MASSI, L. UMA ANÁLISE DAS ABORDAGENS INVESTIGATIVAS DE TRABALHOS SOBRE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS: TENDÊNCIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS. In: **VIII Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências**. Campinas, 2011.

HILBERT, Martin. DIGITAL TECHNOLOGY AND SOCIAL CHANGE: THE DIGITAL TRANSFORMATION OF SOCIETY FROM A HISTORICAL PERSPECTIVE. **Dialogues in Clinical Neuroscience**, v. 22, n. 2, p. 189-194, 2020.

HUNTER, Kevin H.; RODRIGUEZ, Jon-Marc G.; BECKER, Nicole M. A REVIEW OF RESEARCH ON THE TEACHING AND LEARNING OF CHEMICAL BONDING. **Journal of Chemical Education**, v. 99, p. 2451-2464, 2022.

KNOX C, WILSON M, KLINGER CM, FRANKLIN M, OLER E, WILSON A, PON A, COX J, CHIN NEL, STRAWBRIDGE SA, GARCIA-PATINO M, KRUGER R, SIVAKUMARAN A, SANFORD S, DOSHI R, KHETARPAL N, FATOKUN O, DOUCET D, ZUBKOWSKI A, RAYAT DY, JACKSON H, HARFORD K, ANJUM A, ZAKIR M, WANG F, TIAN S, LEE B, LIIGAND J, PETERS H, WANG RQR, NGUYEN T, SO D, SHARP M, da SILVA R, GABRIEL C, SCANTLEBURY J, JASINSKI M, ACKERMAN D, JEWISON T, SAJED T, GAUTAM V, WISHART DS. DRUGBANK 6.0: THE DRUGBANK KNOWLEDGEBASE FOR 2024. **Nucleic Acids Res.** 2024 Jan 5;52(D1):D1265-D1275. doi: 10.1093/nar/gkad976. PMID: 37953279; PMCID: PMC10767804.

KRAISIG, Ângela R.; BRAIBANTE, M. E. F. ANALYSIS OF TEACHING AND LEARNING OF CHEMICAL TRANSFORMATIONS IN NATIONAL PUBLICATIONS. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 8, n. 8, p. e50881272, 2019.

LASAKOSWITSCK, Ronaldo. ORIGENS, CONCEITOS E PROPÓSITOS DAS METODOLOGIAS ATIVAS DE APRENDIZAGEM. **Eccos - Revista Científica**, São Paulo, n. 63, p. 1-21, e23450, out./dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5585/eccos.n63.23450>.

LEITE, Bruno Silva. TECNOLOGIAS NO ENSINO DE QUÍMICA: PASSADO, PRESENTE E FUTURO. **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 3, p. 326-340, 2019.

LENGEL, J. Educação 3.0. ESTADÃO, ON-LINE, 07 nov. 2012. **Caderno Educação**. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/educacao/artigo-educacao-30/> Acesso em 04 jul. 2025.

MIRANDA, Ana Carolina Gomes; PAZINATO, Maurícus Selvero; BRAIBANTE, Mara Elisa Fortes. TEMAS GERADORES ATRAVÉS DE UMA ABORDAGEM TEMÁTICA

FREIREANA: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 7, n. 3, p. 73-92, set./dez. 2017.

MOLVIEW. MOLECULAR EDITOR AND VIEWER. Disponível em: <https://molview.org/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

MORAES, Joelda Ferreira de; SILVA JÚNIOR, Adonias Soares da; LIMA, Eunara Eugênia Lopes; et al. AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM: UMA REVISÃO INTEGRATIVA ACERCA DA SUA RELEVÂNCIA PARA O PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.16, n.12, p. 29217-29224, 2023.

MORÁN, José. MUDANDO A EDUCAÇÃO COM METODOLOGIAS ATIVAS. In: SOUZA, Carlos Alberto de; MORALES, Ofelia Elisa Torres (orgs.). CONVERGÊNCIAS MIDIÁTICAS, EDUCAÇÃO E CIDADANIA: APROXIMAÇÕES JOVENS. Vol. II. **PG: Foca Foto-PROEX/UEPG**, p. 15-33, 2015.

NASCIMENTO, Adriano José da Silva. QUÍMICA DOS MEDICAMENTOS: PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA. 2022. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Licenciatura) – Instituto de Química e Biotecnologia**, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

PAZINATO, Maurícus S.; BRAIBANTE, Hugo T. S.; BRAIBANTE, Mara E. F.; TREVISAN, Marcele C.; SILVA, Giovanna S. UMA ABORDAGEM DIFERENCIADA PARA O ENSINO DE FUNÇÕES ORGÂNICAS ATRAVÉS DA TEMÁTICA MEDICAMENTOS. **Química Nova na Escola**, Vol. 34, Nº 1, p. 21-25, Fev. 2012.

SALDIVAR-GONZÁLEZ, F. I., Fernández-de Gortari, E., & Medina-Franco, J. L. INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DISEÑO DE FÁRMACOS: HACIA LA INTELIGENCIA AUMENTADA. **Educación Química**, 34(2), 17-25, abril-junho, 2023.

SALDÍVAR-GONZÁLEZ, F., Prieto-Martínez, F. D., & Medina-Franco, J. L. DESCUBRIMIENTO Y DESARROLLO DE FÁRMACOS: UN ENFOQUE

COMPUTACIONAL. **Educación Química**, v. 28, p. 51-58, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.06.002>

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. D. P. B. METODOLOGIA DE PESQUISA. Tradução Daisy Vaz de Moraes. 5. ed. Porto Alegre: **Penso**, 2013.

SANTOS, Danielle Fernandes Amaro dos; CASTAMAN, Ana Sara. METODOLOGIAS ATIVAS: UMA BREVE APRESENTAÇÃO CONCEITUAL E DE SEUS MÉTODOS. **Revista Linhas**. Florianópolis, v. 23, n. 51, p. 334-357, jan./abr. 2022.

SANTOS, Camila Maria Andrade dos; SILVA, Ricardo Alexandre Galdino da; WARTHA, Edson José. O CONCEITO DE ELETRONEGATIVIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA E NO ENSINO SUPERIOR. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1846-1851, 2011.

SANTOS, Daniele Bellese Dos; BORDIN, Reginaldo Aliçandro. ESTUDOS SOBRE O PENSAMENTO EDUCACIONAL DE ZYGMUNT BAUMAN E A MODERNIDADE LÍQUIDA. **XI EPCC Anais Eletrônico**, 29 e 30 de outubro de 2019.

SANTOS, José Nunes dos; GEBARA, Maria José Fontana. O PORTAL DIA A DIA EDUCAÇÃO: UM AMBIENTE PEDAGÓGICO COLABORATIVO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS. **Revista Educação Pública**, Rio de Janeiro, v. 24, nº 7, 5 de março de 2024. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/24/6/o-portal-dia-a-dia-educacao-um-ambiente-pedagogico-colaborativo-para-o-ensino-de-ciencias>

SARAH L. Cresswell, Wendy A. Loughlin e Tak H. Kim, IMPLEMENTING AN INTERACTIVE ONLINE PLATFORM IN A LARGE UNDERGRADUATE GENERAL CHEMISTRY COURSE AND ITS IMPACT ON STUDENT LEARNING AND PERCEPTIONS, **Chem. Educ. Res. Pract.**, 2024, 25, 703.

SCHMIDT, Eder. PARACELSO E O PARAGRANUM: ENSAIO DE UMA NOVA MEDICINA? **Revista Médica de Minas Gerais**, Belo Horizonte, v. 29, supl. 6, p. 1-5, 2019. Disponível em: <https://rmmg.org/artigo/detalhes/2515>. Acesso em: 20 set. 2025.

SOUZA, Adriana Alves Novais; SCHNEIDER, Henrique Nou. DA EDUCAÇÃO 1.0 À EDUCAÇÃO 3.0: DESAFIOS PARA A PRÁTICA DOCENTE NO SÉCULO XXI. **Olhar de professor**, Ponta Grossa, v. 25, p. 1-20, e-17555.014, 2022.

GARTLAN, William A.; RAHMAN, Sajedur; PELLEGRINI, Mark V.; RETI, Kaitlyn. BENZATHINE PENICILLIN. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): **StatPearls Publishing**, 2025. Atualizado em 12 fev. 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507723/>. Acesso em: 23 set. 2025.

TRIVIÑOS, Augusto Nibaldo Silva. INTRODUÇÃO À PESQUISA EM CIÊNCIAS SOCIAIS: A PESQUISA QUALITATIVA EM EDUCAÇÃO. São Paulo: **Atlas**, 1987.

UGALDE, Maria Cecília Pereira; ROWEDER, Charlys. SEQUÊNCIA DIDÁTICA: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA DE ENSINO-APRENDIZAGEM. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)**, v. 6, Edição Especial, e099220, 2020.

UREL, David Éverton. PAULO FREIRE E OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS. **Scientia Naturalis**, v. 4, n. 1, p. 49-59, 2022.

ZABALA, Antoni. A PRÁTICA EDUCATIVA: COMO ENSINAR. Porto Alegre: **Artmed**, 1998.

WISHART DS, KNOX C, GUO AC, SHRIVASTAVA S, HASSANALI M, STOTHARD P, CHANG Z, WOOLSEY J. DRUGBANK: A COMPREHENSIVE RESOURCE FOR IN SILICO DRUG DISCOVERY AND EXPLORATION. **Nucleic Acids Res.** 2006 Jan 1;34(Database issue):D668-72. doi: 10.1093/nar/gkj067. PMID: 16381955; PMCID: PMC1347430.

WIKIMEDIA FOUNDATION. **Wikimedia Commons: página principal**. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

YOCUM RR, RASMUSSEN JR, STROMINGER JL. THE MECHANISM OF ACTION OF PENICILLIN. PENICILLIN ACYLATES THE ACTIVE SITE OF BACILLUS

STEARTHERMOPHILUS D-ALANINE CARBOXYPEPTIDASE. **J Biol Chem.**
1980 May 10;255(9):3977-86. PMID: 7372662.

APÊNDICE A - Produto Educacional

LEONARDO MIRANDA RINO RAMOS

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE FÁRMACOS A PARTIR DO USO DE
METODOLOGIAS ATIVAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação de Mestrado
Profissional em Química em Rede Nacional
- PROFQUI da Universidade Federal Rural
de Pernambuco, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Joacy Vicente Ferreira.

RECIFE

2025

1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO

O produto educacional apresentado consiste em uma sequência didática elaborada como proposta teórica, fundamentada nos pressupostos das metodologias ativas, com ênfase na Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL). Sua estrutura segue o modelo dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), visando promover uma abordagem interdisciplinar, contextualizada e crítica no ensino de Química. Para tanto, adotou-se o tema gerador dos fármacos como ponto de partida para discutir as características estruturais e eletrônicas da matéria, favorecendo uma aprendizagem significativa e integrada.

A Aprendizagem Baseada em Problemas (Problem-Based Learning – PBL) tem como objetivo central promover a construção do conhecimento por meio da resolução de problemas contextualizados. Mais do que a simples obtenção de respostas, o foco do método reside no processo de investigação, colaboração e reflexão crítica (SANTOS; CASTAMAN, 2022). No caso da sequência proposta, o problema desencadeador é: “Como a estrutura eletrônica dos fármacos influencia suas propriedades e aplicações?”, permitindo explorar, de forma integrada, conteúdos como ligações químicas e interações intermoleculares.

A sequência didática foi organizada com base na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), um referencial teórico-metodológico que propõe a organização das aulas em três etapas complementares e interligadas, segundo Angotti (2015):

- **Problematização Inicial:** Apresentação de situações reais do cotidiano dos estudantes, relacionadas ao tema de estudo. O professor atua como mediador, promovendo discussões em pequenos grupos e no coletivo, buscando evidenciar os limites do conhecimento prévio e despertar a necessidade de novos saberes para a compreensão do problema proposto.
- **Organização do Conhecimento:** Etapa em que os conteúdos científicos relevantes são sistematicamente explorados com mediação docente. São propostas atividades variadas, como leitura de textos, resolução de problemas, experimentos e

discussões conceituais, visando à apropriação de conhecimentos específicos e à formação crítica dos alunos.

- Aplicação do Conhecimento: Fase de retomada e reinterpretação da situação inicial, em que os alunos aplicam os conceitos aprendidos para analisar o problema, propor soluções e estabelecer generalizações. O objetivo final é promover a articulação entre o conhecimento científico e a realidade vivida, favorecendo uma compreensão mais ampla, significativa e emancipadora.

Assim, a sequência didática proposta visa contribuir com a prática docente ao oferecer uma alternativa metodológica que articula teoria e prática, promovendo o protagonismo estudantil e a contextualização dos conteúdos de Química a partir de temas socialmente relevantes.

A seguir, apresenta-se a descrição detalhada das etapas da sequência didática, contemplando as atividades propostas, objetivos específicos, metodologia adotada, recursos pedagógicos, formas de avaliação e produtos esperados. A proposta está centrada no tema gerador “Fármacos e características estruturais e eletrônicas da matéria” e foi elaborada para o componente curricular de Química, direcionada aos estudantes do 3º ano do Ensino Médio. O tempo estimado para sua aplicação varia de três a cinco aulas, podendo ser ajustado conforme o contexto escolar. Para fins exemplificativos, inclui-se um modelo de aplicação centrado no fármaco Penicilina, além de sugestões de ferramentas digitais que podem ser utilizadas na elaboração dos materiais didáticos.

ETAPA 1 – PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

Nesta primeira etapa, busca-se promover a mobilização dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre o uso de medicamentos, bem como a compreensão da trajetória histórica e científica dos fármacos, estimulando a articulação entre saberes populares e científicos. Para isso, propõe-se a realização da atividade intitulada “Linha do tempo de um fármaco: da tradição ao conhecimento científico”, que consiste na elaboração, pelos estudantes, de uma linha do tempo visual apresentando os principais marcos históricos relacionados à descoberta e ao desenvolvimento de um fármaco. Essa atividade visa fomentar competências de pesquisa, análise crítica e síntese histórica, contribuindo para uma compreensão contextualizada do tema e para o desenvolvimento da autonomia intelectual dos alunos. Os marcos mínimos recomendados são apresentados previamente pelo professor (Figura 16), servindo como roteiro orientador para a construção das linhas do tempo. A duração prevista para essa atividade é de 1 a 2 aulas de 50 minutos, podendo ser adaptada conforme o ritmo da turma e os recursos disponíveis. Quanto ao formato, os estudantes poderão optar por diferentes suportes, como cartazes físicos (papel craft, cartolina), apresentações digitais (utilizando ferramentas como PowerPoint, Canva ou Google Apresentações), ou ainda por plataformas digitais específicas para a criação de linhas do tempo, como a Preceden. Essa diversidade de formatos visa atender aos diferentes estilos de aprendizagem e ampliar as possibilidades de expressão e criatividade dos estudantes, promovendo, desde o início da sequência didática, o engajamento ativo com o conteúdo.

Figura 16 - Marcos históricos do desenvolvimento de um fármaco.

| Marcos históricos do desenvolvimento de um fármaco | |
|--|--|
| Categoria | Descrição Esperada |
| Origem empírica ou tradicional | Uso de plantas, práticas culturais ou saberes populares. |
| Primeiros registros documentados | Textos médicos antigos, alquimia, medicina greco-árabe. |
| Descobertas químicas associadas | Isolamento do princípio ativo, fórmula molecular. |
| Aplicações modernas | Terapias atuais, síntese laboratorial, IA na modelagem. |
| Curiosidades e polêmicas | Retirada do mercado, descobertas acidentais, usos indevidos. |

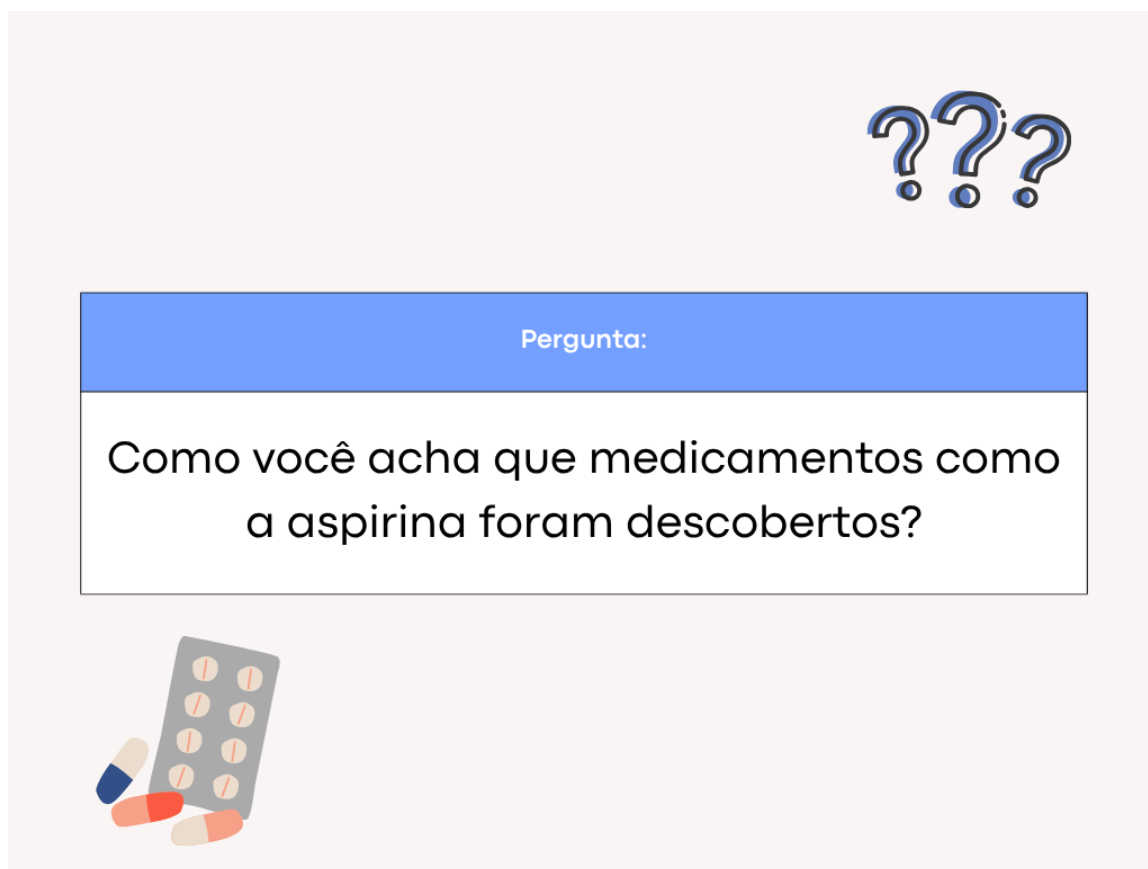
Fonte: O autor (2025)

Metodologia:

A metodologia adotada para esta etapa inicial valoriza a escuta ativa dos estudantes e a construção coletiva do conhecimento, partindo de seus saberes prévios. A aula se inicia com uma roda de conversa, com duração aproximada de 25 minutos, conduzida a partir da pergunta disparadora: “Como você acha que medicamentos como a aspirina foram descobertos?” (Figura 17). Essa estratégia tem como objetivo instigar a curiosidade e criar um ambiente de troca de ideias, no qual os alunos se sintam encorajados a compartilhar experiências e hipóteses. A partir desse diálogo, é realizado um levantamento coletivo de fármacos conhecidos pelos estudantes, bem como de suas possíveis origens — sejam elas científicas, populares ou históricas. Essa etapa inicial tem

função diagnóstica e motivadora, permitindo ao professor identificar concepções prévias e direcionar, de forma mais significativa, os próximos momentos da sequência didática.

Figura 17 - Pergunta disparadora: Como você acha que medicamentos como a aspirina foram descobertos?



Fonte: O autor (2025)

Na sequência da aula, propõe-se uma apresentação dialogada, com duração aproximada de 25 minutos, centrada na exibição de uma linha do tempo previamente construída sobre a Penicilina (conforme ilustrado na Figura 18 e detalhado na Figura 19). Essa etapa tem como objetivo ampliar a compreensão dos estudantes a respeito do desenvolvimento histórico e científico de um fármaco específico, oferecendo um modelo concreto que servirá de referência para a atividade de construção das próprias linhas do tempo. Durante a apresentação, o professor conduz uma discussão orientada sobre os

principais marcos históricos e os avanços tecnológicos associados à descoberta, isolamento, produção em larga escala e aplicação clínica da Penicilina. A proposta visa não apenas à transmissão de informações, mas à construção coletiva do conhecimento, com espaço para que os estudantes façam perguntas, levantem hipóteses e estabeleçam relações com o que foi discutido na roda de conversa inicial. Ao apresentar um exemplo real e documentado, espera-se fomentar o pensamento crítico e fornecer subsídios para o desenvolvimento autônomo da atividade prática que se seguirá.

Figura 18 – Linha do tempo do fármaco Penicilina.



Fonte: O autor. Criado no Canva (2025).

Figura 19 - Marcos históricos do desenvolvimento do fármaco Penicilina.**Marcos históricos do desenvolvimento do fármaco Penicilina**

| Período | Marco | Descrição |
|-------------|---|---|
| Antiguidade | Uso empírico | Culturas antigas, como a egípcia e a grega, faziam uso de fungos ou mofo no tratamento de feridas e infecções, ainda que de forma empírica, sem o conhecimento das substâncias ativas envolvidas (DAVIES; DAVIES, 2010). |
| 1867–1871 | Primeiras observações científicas | Joseph Lister e John Scott Burdon-Sanderson observaram que o mofo impedia o crescimento de microrganismos, levantando hipóteses sobre suas propriedades antimicrobianas (GAUDELLI et al., 2022). |
| 1928 | Descoberta por Fleming | Alexander Fleming identificou, em seu laboratório, que o fungo <i>Penicillium notatum</i> inibia o crescimento de bactérias como <i>Staphylococcus aureus</i> . Este achado é considerado um marco na descoberta dos antibióticos (FLEMING, 1929). |
| 1939–1941 | Isolamento e testes clínicos | A equipe de Howard Florey e Ernst Chain conseguiu isolar, purificar e aplicar a penicilina em testes clínicos, demonstrando sua eficácia no tratamento de infecções bacterianas (AMERICANO DO BRASIL et al., 2020). |
| 1942–1945 | Produção em larga escala | Durante a Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento de métodos de fermentação em larga escala possibilitou a produção industrial da penicilina, consolidando sua importância terapêutica global (MAREK; DALLAGO, 2023). |
| 2025 | Uso contemporâneo – Benzetacil (penicilina benzatina) | Desde meados do século XX até os dias atuais, a penicilina benzatina permanece como uma importante forma terapêutica de penicilina G de ação prolongada, administrada via injeção intramuscular. É amplamente utilizada no tratamento de sífilis, faringites estreptocócicas e na profilaxia da febre reumática. Sua eficácia, baixo custo e inclusão nas políticas públicas de saúde (por exemplo, no SUS) reforçam seu valor no contexto clínico moderno (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015). |

Fonte: O autor. Criado no Canva (2025).

Na segunda aula desta etapa, os estudantes participam de uma atividade prática com duração de 50 minutos, que dá continuidade ao trabalho iniciado anteriormente. Em duplas ou trios, os alunos deverão escolher um fármaco específico para ser investigado, preferencialmente relacionado ao seu cotidiano ou de relevância social. A partir da escolha, inicia-se o processo de pesquisa orientada, no qual os estudantes deverão identificar os principais marcos históricos e científicos do fármaco selecionado, conforme demonstrado na aula anterior, por meio do exemplo da Penicilina. Esses marcos devem contemplar desde o uso tradicional até os avanços científicos e tecnológicos envolvidos em sua descoberta, produção e aplicação. Com base nessas informações, será iniciado o processo de produção da linha do tempo, que poderá ser elaborada em diferentes formatos, como cartaz físico, apresentação de slides (PowerPoint, Canva ou Google Apresentações) ou ainda por meio de plataformas digitais específicas, como a Preceden. Essa atividade permite que os estudantes consolidem os conhecimentos discutidos, desenvolvam habilidades de pesquisa e síntese, além de exercitarem a criatividade e a autonomia na produção do material final.

Avaliação:

A avaliação desta etapa será realizada de forma formativa e contínua, acompanhando o engajamento e o desenvolvimento dos estudantes ao longo das atividades propostas. Serão considerados, entre os principais critérios avaliativos, a participação ativa nas discussões iniciais, especialmente na roda de conversa e nas reflexões sobre a origem e a evolução dos medicamentos; a coerência histórica e científica das informações incluídas na linha do tempo, observando a capacidade dos estudantes de identificar e organizar os marcos relevantes com base em fontes confiáveis; a clareza e a criatividade na apresentação visual do material produzido, valorizando tanto a organização das ideias quanto a qualidade estética da produção; e, por fim, a pertinência do fármaco escolhido em relação ao tema central da sequência didática, considerando sua relevância social, científica ou cultural. Esses critérios visam não apenas mensurar o desempenho dos estudantes, mas também orientar o processo de ensino-aprendizagem de modo a favorecer a reflexão crítica, a autonomia e a construção significativa do conhecimento.

Produto esperado:

Ao final desta etapa, espera-se como produto final a elaboração de uma linha do tempo, que poderá ser apresentada em formato físico (como cartaz) ou digital (utilizando ferramentas como apresentações de slides ou plataformas específicas). Esse material deve representar, de forma clara, criativa e cronologicamente organizada, os principais marcos históricos e científicos do fármaco escolhido pelo grupo. Além da linha do tempo, os estudantes deverão produzir um texto breve explicativo, no qual devem justificar a escolha do fármaco investigado e sintetizar os principais aprendizados adquiridos durante a realização da atividade. Esse texto contribui para o desenvolvimento da argumentação escrita e da capacidade reflexiva, ao mesmo tempo em que permite ao professor avaliar a apropriação crítica dos conteúdos explorados na etapa.

Considerações:

A construção da linha do tempo, ainda que apresentada de forma hipotética neste trabalho, evidencia o potencial da integração entre ciência, cultura e tecnologia para promover um aprendizado ativo, contextualizado e interdisciplinar. Esse recurso didático se mostra especialmente eficaz como estratégia de problematização inicial, por permitir a ativação dos conhecimentos prévios dos estudantes e, ao mesmo tempo, estabelecer conexões significativas com os conteúdos estruturantes da Química, como as propriedades dos fármacos e sua evolução histórica. Ao situar o conhecimento científico em um contexto social e culturalmente relevante, a atividade contribui para uma abordagem crítica e significativa da ciência na escola.

Enquanto primeira etapa de uma sequência didática mais ampla, essa proposta abre caminho para o aprofundamento em temas específicos, como estrutura molecular, propriedades eletrônicas e modelagem computacional de fármacos, os quais serão desenvolvidos nas etapas seguintes. Assim, além de promover o engajamento inicial dos estudantes, esta atividade inaugura um percurso pedagógico que valoriza a construção coletiva do conhecimento, o pensamento científico e a articulação entre teoria e prática no ensino de Química.

ETAPA 2 – ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO: LEITURA ESTRUTURAL E ELETRÔNICA DE FÁRMACOS NO PORTAL *INSILICO LAB*

Na etapa anterior, reconstruímos uma linha do tempo que teve início na Antiguidade, com registros de culturas como a egípcia e a grega utilizando fungos ou mofo de maneira empírica no tratamento de infecções. Esse percurso histórico culmina no século XX com a consolidação da penicilina como agente terapêutico, destacando-se sua evolução até a formulação da penicilina benzatina — o popular Benzetacil —, cuja ação prolongada e administração intramuscular a tornam um recurso valioso na prática clínica contemporânea. Atualmente, o Benzetacil é amplamente utilizado no tratamento da sífilis, faringites estreptocócicas e na profilaxia da febre reumática, sendo reconhecido por sua eficácia, baixo custo e presença consolidada nas políticas públicas de saúde, como no Sistema Único de Saúde (SUS).

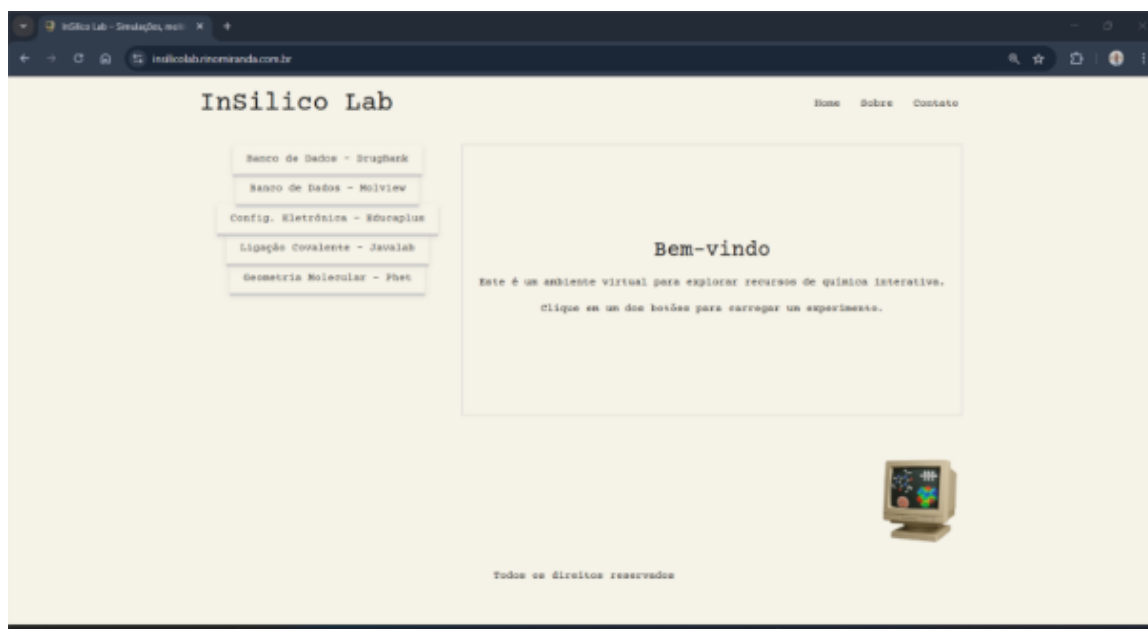
Após as investigações realizadas na primeira etapa, damos início a uma nova fase da proposta pedagógica: a análise química e estrutural da substância investigada. O aprofundamento agora proposto parte diretamente dos dados e relações estabelecidos anteriormente, especialmente a identificação do Benzetacil como uma forma terapêutica da penicilina G. Essa análise tem como objetivo principal compreender o modo de ação da molécula no organismo, assim como reconhecer as características estruturais e eletrônicas que conferem à substância suas propriedades farmacológicas.

Para tornar essa investigação acessível e visual, utilizaremos ferramentas digitais disponíveis no Portal *InSilico Lab*, uma plataforma digital criada por nós como parte desta pesquisa. O portal foi desenvolvido com o uso do WordPress, um sistema de gerenciamento de conteúdo (CMS) gratuito e de código aberto, amplamente utilizado para a criação de sites, blogs e plataformas educacionais. O WordPress se destaca por sua interface intuitiva, variedade de temas e plugins, e pela facilidade de uso mesmo por pessoas que não possuem conhecimentos avançados em programação — como é o nosso caso. A criação do *InSilico Lab* foi viabilizada a partir de pesquisas autônomas na internet e do uso de recursos gratuitos, o que demonstra que, com empenho e

planejamento, é possível desenvolver ferramentas digitais educacionais funcionais e atrativas, mesmo com infraestrutura limitada.

O Portal *InSilico Lab* (Figura 20) foi concebido com o objetivo de atender às demandas dos estudantes contemporâneos, imersos na cultura digital e acostumados a interagir com recursos tecnológicos em seu cotidiano. Trata-se de um ambiente virtual simples e funcional, que reúne links para diferentes plataformas que oferecem simulações computacionais online, acessíveis diretamente pelo navegador, sem necessidade de instalação de softwares ou uso de equipamentos sofisticados. O intuito do *InSilico Lab* não é substituir o conteúdo desses sites, mas indicar caminhos, organizar o acesso e democratizar o uso dessas ferramentas, tornando-as mais visíveis e acessíveis aos estudantes da educação básica. Ao centralizar os recursos e contextualizá-los dentro de uma proposta pedagógica, o portal busca incentivar o uso autônomo, investigativo e crítico das tecnologias digitais, contribuindo para a formação científica e tecnológica dos alunos e para o desenvolvimento de práticas educativas mais conectadas com a realidade da escola e da sociedade atual.

Figura 20 – Interface inicial do portal *InSilico Lab* em desktop.



Fonte: O autor. Captura de tela do site <https://insilicolab.rinomiranda.com.br/> (2025).

Todo o procedimento de análise molecular será descrito de forma detalhada e didática, com o objetivo de garantir a compreensão por parte dos estudantes e possibilitar a reprodução da atividade em diferentes contextos escolares. A primeira etapa desta fase consiste na identificação do princípio ativo do fármaco, utilizando como principal fonte o *DrugBank*, um banco de dados online amplamente reconhecido por reunir informações químicas, farmacológicas e clínicas sobre medicamentos. O acesso ao *DrugBank* poderá ser feito diretamente por meio de links disponíveis no próprio Portal *InSilico Lab* (conforme ilustrado na Figura 21), facilitando o direcionamento dos estudantes e a integração entre os conteúdos teóricos e as ferramentas digitais propostas.

Figura 21 – Banco de dados *DrugBank* disponível no portal *InSilico Lab*.



Fonte: O autor. Captura de tela do site <https://insilicolab.rinomiranda.com.br/> (2025).

Ao acessar o *DrugBank*, o estudante deve digitar o termo “penicillin G benzathine” na barra de busca da plataforma e selecionar a página correspondente ao medicamento em questão. Nessa página (Figura 22), encontram-se dados essenciais sobre a estrutura molecular da substância, incluindo informações sobre seu mecanismo de ação, interações medicamentosas, usos terapêuticos e outras propriedades relevantes para a

análise proposta nesta etapa. Esses dados servirão de base para o aprofundamento dos conceitos de estrutura eletrônica e relação entre composição molecular e atividade farmacológica, permitindo uma articulação entre o conhecimento químico e sua aplicação real no campo da saúde.

Figura 22 – Banco de dados *DrugBank* com dados da Benzilpenicilina.

The screenshot displays the DrugBank website interface for Benzilpenicilina (DB01053). The page is organized into several sections:

- Header:** Includes the DrugBank logo and navigation links for exploring, drug discovery, clinical software, and academic research.
- Search Bar:** A search bar with the placeholder text "Digite sua pesquisa..." and a magnifying glass icon.
- Left Sidebar:** A list of categories for exploration, including Identification, Pharmacology, Interactions, Products, Categories, Chemical Identifiers, References, Clinical Trials, Pharmacoeconomics, Properties, Spectra, Alloys (0), Enzymes (1), Transporters (1), and Transporters (11).
- Main Content Area:**
 - Structure:** A chemical structure diagram of Benzilpenicilina.
 - Description:** A brief description of the drug as a penicillin antibiotic used to treat various infections.
 - ID de DrugBank:** DB01053.
 - Modidade:** Molécula pequena.
 - Approvals:** A table showing approvals in the USA (SIM) and other countries (SIM).
 - Patentes:** A table showing patents (0).
 - Condições indicadas:** A table showing conditions indicated (23).
 - Ensaios clínicos:** A table showing clinical trials across five phases (Fase 0 to Fase 4) with counts (2, 8, 12, 15, 25).
 - Categorias terapêuticas:** A list of therapeutic categories including Agents antibacterianos, Penicilinas Naturais, and Penicilinas.
- Footer:** A section labeled "IDENTIFICAÇÃO" with a "Mostrar área de trabalho" button.

Fonte: DrugBank. *DrugBank* Online. Disponível em: <https://go.drugbank.com/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

Na página do fármaco no *DrugBank*, encontram-se diversas seções com informações organizadas e detalhadas. Entre elas, destacam-se: *Identification* (Identificação), *Pharmacology* (Farmacologia), *Targets* (Alvos), *Chemical Identifiers* (Identificadores Químicos), entre outras. Para fins da nossa análise inicial, o maior interesse recai sobre a seção *Pharmacology*, que reúne dados relacionados aos efeitos da substância no organismo. Nessa seção, destaca-se a descrição do *mechanism of action* — ou mecanismo de ação —, que explica como a penicilina benzatina exerce sua função terapêutica. De acordo com o *DrugBank*, essa substância atua inibindo a etapa final da síntese da parede celular bacteriana, o que impede a formação da estrutura essencial à sobrevivência do microrganismo. Como consequência, ocorre a lise (ruptura) da célula bacteriana, levando à sua morte.

Essa informação é fundamental para compreender o papel do princípio ativo na ação antimicrobiana do Benzetacil e será aprofundada nas próximas etapas da proposta pedagógica.

Ainda na página do fármaco, é possível acessar o código *SMILES* (*Simplified Molecular Input Line Entry System*), que representa a estrutura da molécula por meio de uma sequência padronizada de caracteres. Esse código descreve, de forma linear, a organização dos átomos e das ligações químicas da substância, sendo amplamente utilizado em ferramentas de modelagem molecular. Na etapa seguinte, esse código será inserido em simuladores disponíveis no Portal *InSilico Lab*, como o *MolView*, com o objetivo de gerar a visualização tridimensional da molécula. Essa representação permitirá uma análise mais aprofundada da estrutura da penicilina benzatina, possibilitando observar aspectos como geometria molecular, presença de grupos funcionais e outras características relevantes para a compreensão de sua ação farmacológica.

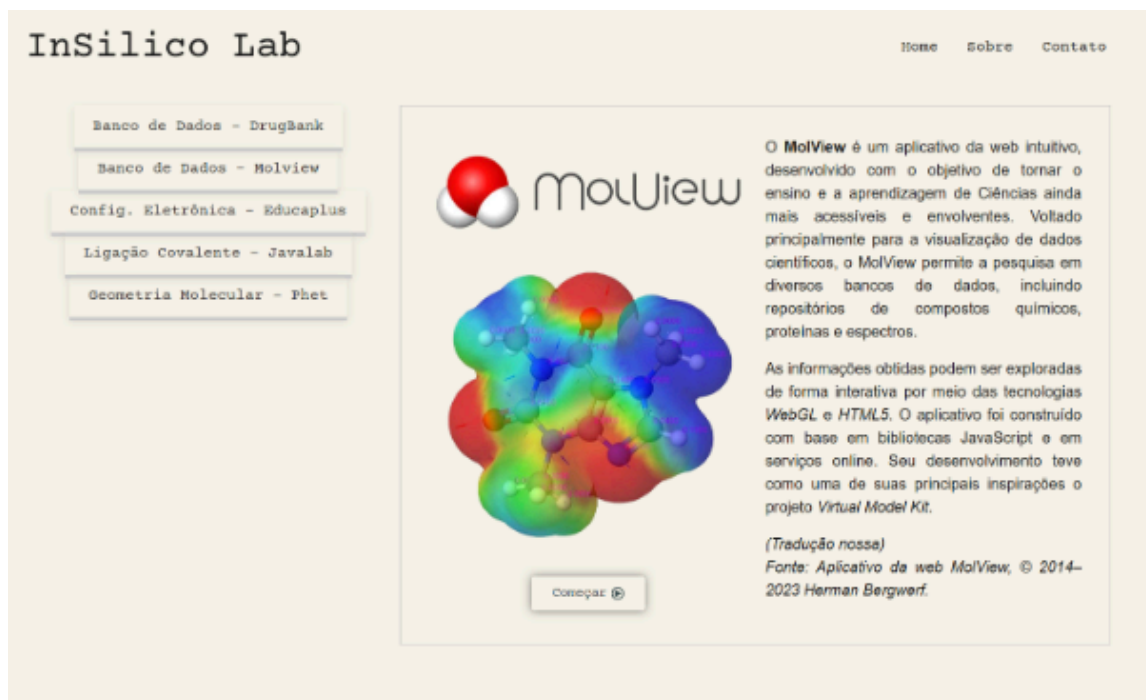
Com o código *SMILES* em mãos (Figura 23), acessamos o *MolView*, uma ferramenta integrada ao Portal *InSilico Lab* (Figura 24). O *MolView* é uma plataforma online gratuita que permite a visualização de moléculas em 2D e 3D, além de oferecer recursos úteis para análises básicas, como a identificação de grupos funcionais, cálculo de propriedades moleculares e visualização de orbitais eletrônicos, contribuindo para uma experiência investigativa mais rica e acessível aos estudantes.

Figura 23 - Código *Smiles* da Benzilpenicilina obtido no banco de dados *DrugBank*.

| | |
|---------------|---|
| SMILES | <chem>[H][C@]12SC(C)(C)[C@@H](N1C(=O)[C@H]2NC(=O)CC1=CC=CC=C1)C(O)=O</chem> |
|---------------|---|

Fonte: DrugBank. *DrugBank* Online. Disponível em: <https://go.drugbank.com/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

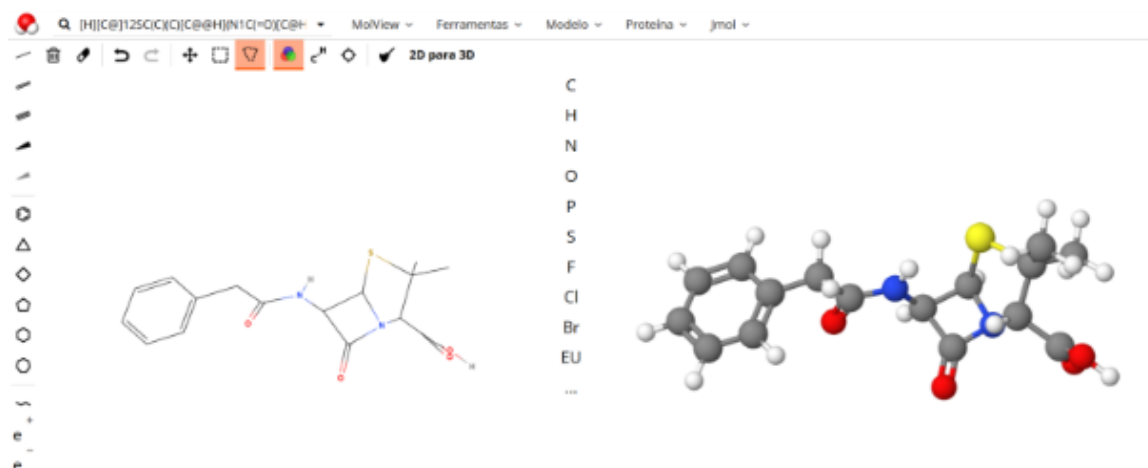
Figura 24 - Link de acesso ao simulador *MolView* disponível no portal *InSilico Lab*.



Fonte: O autor. Captura de tela do site <https://insilicolab.rinomiranda.com.br/> (2025).

Ao inserir o código *SMILES* da penicilina benzatina na barra de buscas do *MolView*, obtemos sua estrutura tridimensional completa (Figura 25), com todos os átomos e ligações químicas representados de forma interativa e manipulável. Essa visualização molecular em 3D é fundamental para compreender a organização espacial da molécula, permitindo observar aspectos como a geometria dos orbitais, a disposição dos grupos funcionais e a flexibilidade conformacional da estrutura. Esses elementos são cruciais para a análise das possíveis interações da substância com alvos biológicos específicos, como enzimas ou proteínas da parede celular bacteriana, aprofundando nossa investigação sobre a relação entre estrutura e função no contexto farmacológico. Além disso, a manipulação interativa da molécula favorece o desenvolvimento do raciocínio espacial e da capacidade de abstração dos estudantes, contribuindo para uma aprendizagem dos conceitos de estrutura eletrônica, ligação química e propriedades intermoleculares.

Figura 25 – Estrutura molecular da penicilina benzatina obtida no simulador *MolView*.



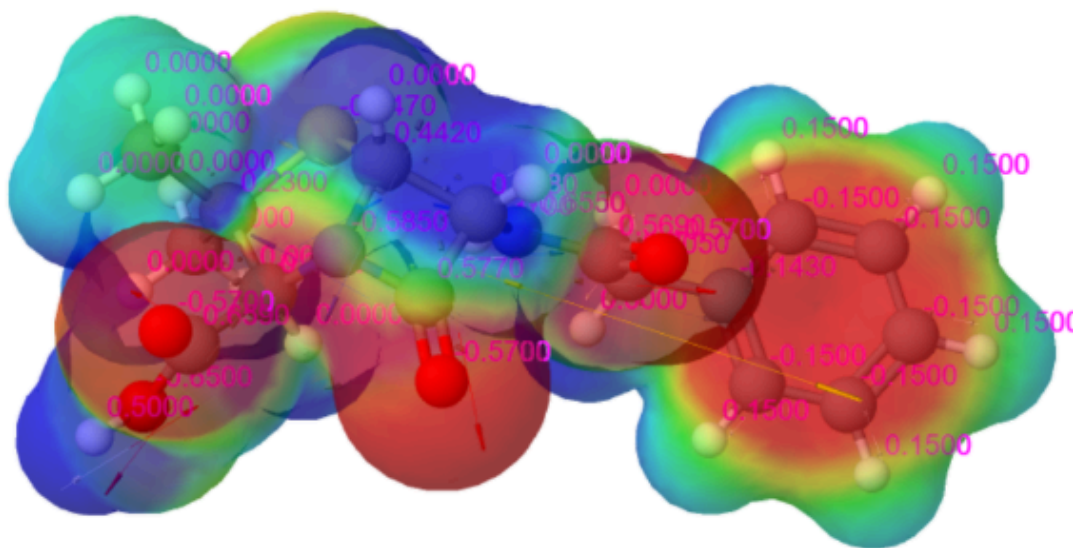
Fonte: MOLVIEW. *MolView – Molecular editor and viewer*. Disponível em: <https://molview.org/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

A partir da análise visual da molécula no *MolView*, os estudantes são convidados a realizar uma exploração investigativa das características estruturais e eletrônicas da penicilina benzatina. Nesta etapa, não se indicam diretamente quais grupos funcionais estão associados à sua ação farmacológica. Em vez disso, busca-se promover a observação ativa e o levantamento de hipóteses, incentivando os alunos a identificar propriedades que possam influenciar a reatividade química e a interação com alvos biológicos.

Para apoiar esse processo investigativo, o *MolView* oferece diversos recursos didáticos interativos. No menu “*Tools*”, é possível exportar imagens da estrutura molecular e copiar o código *SMILES*, facilitando o registro das observações. Já no menu “*Model*”, os estudantes podem alternar entre diferentes representações tridimensionais, como modelos de bastões ou esferas de van der Waals, que evidenciam distintos aspectos da geometria molecular. O menu “*Protein*” permite alterar o fundo da visualização, destacando regiões específicas da molécula e simulando ambientes similares aos utilizados em modelagens proteicas.

O principal destaque, porém, está no menu “Jmol”, que reúne ferramentas computacionais bastante informativas. Um dos recursos centrais é a geração do mapa de potencial eletrostático (MEP) (Figura 26), que indica regiões com maior ou menor densidade eletrônica — ou seja, áreas com predominância de carga negativa ou positiva. Esse menu também permite visualizar cargas parciais nos átomos, vetores de dipolo de ligações, o dipolo total da molécula, além de realizar otimizações de energia e medições geométricas, como distâncias, ângulos e torções.

Figura 26 - Visualização da superfície de potencial eletrostático penicilina benzatina obtida no simulador *MolView*.



Fonte: MOLVIEW. *MolView – Molecular editor and viewer*. Disponível em: <https://molview.org/>. Acesso em: 4 jan. 2025.

Esses dados viabilizam uma análise aprofundada da estrutura molecular, permitindo que os estudantes formulem hipóteses sobre quais regiões da penicilina benzatina são mais propensas a interações químicas. A partir da observação de padrões de

densidade de carga, por exemplo, é possível identificar áreas estruturalmente reativas, mesmo sem o conhecimento prévio de grupos funcionais específicos. Essa abordagem favorece a descoberta ativa de estruturas-chave, como o anel β -lactâmico, fundamental para a atividade farmacológica da penicilina. Com o apoio dos recursos oferecidos pelo *MolView*, os estudantes têm a oportunidade de perceber, por conta própria, que essa região da molécula apresenta características que a tornam altamente reativa — como tensões angulares significativas e elevada densidade eletrônica local.

Posteriormente, ao confrontarem suas observações com fontes confiáveis, como o *DrugBank* — em especial a seção que detalha o mecanismo de ação da penicilina benzatina — os alunos podem validar suas hipóteses e reconhecer que essa mesma região é o alvo de enzimas bacterianas, como as β -lactamases. Assim, a identificação do anel β -lactâmico não é apresentada como um dado pronto, mas emerge de um processo investigativo ativo.

O Portal *InSilico Lab* disponibiliza diversas ferramentas digitais que enriquecem o processo investigativo no estudo de fármacos, integrando conhecimentos das áreas de química, biologia e farmacologia. A seguir, são apresentadas as principais ferramentas utilizadas, suas funções e aplicações no contexto da investigação científica:

DrugBank é um banco de dados abrangente de fármacos que permite identificar o princípio ativo, o mecanismo de ação, a estrutura molecular (por meio de códigos *SMILES* ou *MOL*), além dos alvos biológicos e dos mecanismos de resistência bacteriana relacionados ao medicamento em estudo. Essa ferramenta é essencial para validar hipóteses e aprofundar o entendimento farmacológico dos compostos.

MolView oferece recursos avançados de visualização e análise molecular. Permite inserir estruturas moleculares, visualizá-las em representações 2D e 3D, calcular superfícies de potencial eletrostático, cargas parciais, ângulos e distâncias entre átomos, além de analisar orbitais moleculares HOMO e LUMO. Com esses recursos, os estudantes podem interpretar regiões da molécula mais reativas e compreender sua dinâmica eletrônica.

EducaPlus é um simulador voltado para a exploração da estrutura eletrônica dos elementos presentes nas moléculas, como carbono, oxigênio, nitrogênio e enxofre. A ferramenta reforça conceitos fundamentais de configuração eletrônica e organização das camadas de valência, facilitando a compreensão da distribuição eletrônica envolvida na formação das ligações químicas.

JavaLab é um simulador dedicado às ligações químicas, permitindo a visualização das estruturas de Lewis e o compartilhamento de pares de elétrons. Com essa ferramenta, os estudantes observam como os átomos se conectam para formar moléculas estáveis, relacionando o tipo de ligação com a disponibilidade de pares eletrônicos, a eletronegatividade dos elementos e a estrutura final da substância.

Por fim, o PhET oferece um simulador de geometria molecular baseado no modelo VSEPR. Essa ferramenta permite visualizar a organização tridimensional dos átomos em uma molécula, explorar os ângulos de ligação e compreender como a geometria molecular influencia propriedades físicas e químicas dos compostos.

A Figura 27 resume as funcionalidades de cada dessas ferramentas, bem como as possibilidades de uso pelos estudantes durante a investigação. Essas ferramentas, ao serem integradas ao processo de análise, ampliam significativamente a compreensão dos fármacos, permitindo que estudantes e professores explorem muito além da fórmula química.

Figura 27 - Funcionalidades das ferramentas disponíveis no Portal *InSilico Lab*.



Fonte: O autor (2025)

Com o apoio das ferramentas disponíveis no portal *InSilico Lab*, torna-se possível compreender de forma aprofundada as funcionalidades moleculares do medicamento, assim como os fundamentos que explicam seu mecanismo de ação. Além disso, as ferramentas permitem explorar questões clínicas relevantes, como o surgimento e desenvolvimento da resistência bacteriana, um desafio constante no uso de antibióticos. Ao integrar essas ferramentas e bases de dados em um único ambiente digital, o *InSilico Lab* busca oferecer uma experiência investigativa rica, acessível e interativa, que promova a conexão integrada entre os conhecimentos das áreas de química, biologia e farmacologia.

Essa abordagem interdisciplinar não apenas reforça o aprendizado conceitual, como também estimula o desenvolvimento da autonomia científica dos estudantes. Por meio do uso ativo das plataformas digitais, eles aprimoram o raciocínio crítico e a capacidade de interpretar dados reais, habilidades essenciais para a formação de profissionais preparados para enfrentar desafios complexos. Dessa forma, o portal

InSilico Lab se alinha a uma proposta pedagógica ativa e contextualizada, que valoriza a investigação, a reflexão e a construção do conhecimento em contextos contemporâneos.

ETAPA 3 – APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO: PROPOSTA DE INTERVENÇÃO OU COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE O USO DE FÁRMACOS

Objetivo:

Nesta terceira e última etapa da sequência didática, tem-se como objetivo central a investigação e mobilização dos conhecimentos construídos nas etapas anteriores, de modo a aprofundar o pensamento crítico, criativo e interventivo dos estudantes frente a questões científicas e sociais relacionadas ao uso de fármacos. Para isso, os discentes serão organizados em grupos e convidados a selecionar uma dentre diferentes propostas de atividade, todas concebidas para consolidar e aplicar os saberes desenvolvidos ao longo do percurso formativo, favorecendo a articulação entre teoria, prática e realidade social.

Entre as possibilidades de escolha, destaca-se a criação de materiais educativos — como vídeos, cartazes ou podcasts — voltados à promoção do uso racional de medicamentos, com o propósito de informar e sensibilizar a comunidade escolar. Outra proposta consiste na simulação de uma campanha de saúde, abordando temas como a automedicação e a desinformação científica, problemáticas diretamente ligadas à saúde pública contemporânea.

Também será possível realizar um estudo de caso, no qual os estudantes deverão analisar situações envolvendo efeitos colaterais de medicamentos ou resistência bacteriana, promovendo o desenvolvimento de competências analíticas e argumentativas. Como alternativa, os grupos poderão elaborar um mapa conceitual que represente as interações entre um fármaco e seu alvo biológico, favorecendo a organização dos conhecimentos e a compreensão sistêmica dos conteúdos trabalhados.

Dessa forma, esta etapa final busca consolidar uma aprendizagem significativa, integrando ciência, saúde e cidadania em uma perspectiva crítica e contextualizada

Metodologia:

A metodologia adotada nesta etapa da sequência didática pauta-se em uma abordagem colaborativa, centrada na participação ativa dos estudantes e na valorização do diálogo e da autoria. Os alunos serão organizados em grupos colaborativos, favorecendo a troca de saberes, o desenvolvimento da responsabilidade compartilhada e a construção coletiva do conhecimento.

Para a produção dos materiais propostos, será incentivado o uso opcional de ferramentas digitais, permitindo que os grupos explorem recursos tecnológicos conforme suas preferências e possibilidades, o que contribui para a ampliação das competências digitais e para a diversificação das formas de expressão dos conteúdos trabalhados.

Após a etapa de elaboração, os grupos deverão realizar a apresentação dos trabalhos, seja para a turma ou, quando pertinente, para a comunidade escolar. Essa socialização tem como finalidade não apenas divulgar os resultados, mas também promover o protagonismo estudantil e fortalecer o vínculo entre o conhecimento científico e o contexto social.

Por fim, será realizada uma roda de conversa coletiva, momento destinado ao compartilhamento de reflexões sobre a experiência vivenciada, à escuta ativa entre os participantes e à autoavaliação do processo de aprendizagem. Essa etapa final busca ampliar a consciência crítica dos estudantes sobre sua trajetória no projeto, estimulando o pensamento reflexivo e a autonomia intelectual.

Avaliação:

A avaliação dos trabalhos será orientada por critérios que contemplam tanto os aspectos conceituais quanto os formativos da atividade. Serão considerados, em primeiro lugar, a clareza conceitual, isto é, a precisão e coerência na abordagem dos conteúdos científicos mobilizados pelos estudantes. Além disso, será valorizada a criatividade na elaboração das propostas, entendida como a capacidade de apresentar soluções originais e expressivas para os desafios propostos.

Outro critério relevante será a aplicabilidade dos conteúdos trabalhados, o que implica avaliar em que medida os conhecimentos desenvolvidos ao longo da sequência foram incorporados de forma funcional e pertinente na atividade final. Por fim, será levada em conta a relevância social da proposta apresentada, especialmente no que diz respeito à sua capacidade de dialogar com questões reais, promover conscientização ou gerar impacto positivo no contexto escolar ou comunitário.

Essa abordagem avaliativa busca reconhecer não apenas o domínio dos conteúdos, mas também o engajamento, a criticidade e a capacidade de intervenção dos estudantes diante de problemas complexos que envolvem ciência e sociedade.

Considerações finais:

Esta etapa final da sequência didática tem como propósito consolidar a integração entre os conhecimentos científicos abordados ao longo do percurso formativo e os contextos reais vivenciados pelos estudantes. Ao propor atividades que articulam ciência, saúde e sociedade, busca-se promover o desenvolvimento da autonomia intelectual, da criatividade e do protagonismo discente, valores essenciais para uma aprendizagem significativa e transformadora.

Além disso, destaca-se a importância da avaliação crítica por parte de professores de Química, tanto no que diz respeito à aplicabilidade prática da proposta quanto à sua contribuição para o desenvolvimento de competências previstas pela BNCC. Esse olhar reflexivo e especializado é indispensável para o aperfeiçoamento contínuo da metodologia adotada e para a validação de sua eficácia pedagógica, garantindo que a abordagem se mantenha relevante, atualizada e sensível às demandas contemporâneas da educação em Ciências.

CONCLUSÃO

O presente trabalho, ao propor uma sequência didática fundamentada na investigação científica e no uso de tecnologias digitais, buscou promover uma aprendizagem significativa em torno do uso do tema dos fármacos, articulando os conhecimentos químicos à realidade dos estudantes. A proposta se ancora em metodologias ativas, especialmente na aprendizagem baseada em problemas (ABP), e está alinhada às diretrizes da BNCC, ao integrar habilidades cognitivas, competências socioemocionais e formação crítica.

Ao longo do desenvolvimento do produto educacional, foi levado em consideração que a abordagem interdisciplinar e contextualizada pode favorecer o engajamento dos discentes, promovendo não apenas a compreensão dos conteúdos, mas também o protagonismo estudantil e a valorização do conhecimento científico como ferramenta de transformação social. A utilização de plataformas digitais e ferramentas computacionais interativas foi considerada como uma estratégia com potencial para demonstrar eficácia na mediação pedagógica, ampliando as possibilidades de aprendizagem autônoma e colaborativa..

Dessa forma, o produto aqui desenvolvido busca se consolidar como uma proposta pedagógica inovadora e replicável, capaz de contribuir para a resignificação do ensino de Química, aproximando-o dos interesses e vivências dos estudantes. Reitera-se, assim, a importância da pesquisa como fundamento da prática docente e a necessidade de constante reflexão sobre os processos de ensino e aprendizagem no contexto da educação contemporânea.

APÊNDICE B - Questionário de Avaliação da Sequência Didática

Figura 28 - Questionário aplicado aos professores (1/9)

21/09/2025, 21:43

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

Esta pesquisa tem como objetivo **avaliar uma proposta de sequência didática** elaborada para o 3º ano do Ensino Médio, estruturada com base nas Metodologias Ativas e nos Três Momentos Pedagógicos.

O tema central é o Estudo das Propriedades Eletrônicas da Matéria a partir do contexto dos Fármacos.

Aviso de Consentimento:

Esta pesquisa é parte de um trabalho de dissertação de mestrado. Sua participação é voluntária e anônima, e os dados obtidos serão usados exclusivamente para fins acadêmicos.

Ao prosseguir, você concorda em participar da pesquisa.

* Indica uma pergunta obrigatória

Figura 29 - Questionário aplicado aos professores (2/9)

21/09/2025, 21:43

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

Conheça a proposta antes de responder:

Sequência Didática: Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

Componente Curricular: Química

Série/Nível: 3º ano do Ensino Médio

Tempo estimado: De 3 a 5 aulas (ajustável conforme o contexto escolar)

Esta sequência didática foi elaborada como uma proposta teórica, com base em pressupostos das **metodologias ativas**, especialmente a **Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL)**. Está estruturada segundo os **Três Momentos Pedagógicos (3MP)**, sistematizados por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), com o objetivo de promover uma abordagem interdisciplinar e contextualizada da Química. O tema gerador são os **fármacos**, utilizados como eixo para discutir as **propriedades eletrônicas da matéria**.

A seguir, apresentam-se as três etapas da proposta:

Etapas 1 – Problematização:

Linha do tempo de um fármaco: da tradição ao conhecimento científico

Objetivos:

- Mobilizar conhecimentos prévios dos estudantes sobre o uso de medicamentos
- Compreender a trajetória histórica e científica de um fármaco
- Relacionar saberes populares e científicos
- Estimular a pesquisa e a organização cronológica de informações
- Introduzir o tema da sequência, articulando-o com contextos sociais e culturais

Descrição da atividade:

Figura 30 - Questionário aplicado aos professores (3/9)

21/09/2025, 21:43

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

Estudantes, em duplas ou trios, constroem uma **linha do tempo visual** de um fármaco à escolha, com marcos históricos desde seu uso empírico até suas aplicações modernas.

Marcos obrigatórios:

- Origem empírica ou tradicional
- Primeiros registros documentados
- Descobertas químicas associadas
- Aplicações modernas
- Curiosidades e polêmicas

Recursos sugeridos:

- Cartazes físicos, apresentações digitais ou plataformas interativas como o *Preceden*

Produto esperado:

- Linha do tempo + texto explicativo

Avaliação:

Participação, coerência histórico-científica, criatividade e relevância do fármaco escolhido

Etapas 2 – Organização do Conhecimento:

Leitura estrutural e eletrônica de fármacos no Portal InSilico Lab

Objetivo:

Compreender como a **estrutura molecular** e as **propriedades eletrônicas** de um fármaco se relacionam com sua ação no organismo, utilizando ferramentas digitais disponíveis no **Portal InSilico Lab**.

Figura 31 - Questionário aplicado aos professores (4/9)

21/09/2025, 21:43

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

Recursos utilizados no portal:

- **DrugBank:** dados químicos, farmacológicos e clínicos
- **MolView:** visualização da molécula, orbitais, cargas, ângulos
- **EducaPlus:** simulação da distribuição eletrônica dos elementos
- **JavaLab:** estruturas de Lewis, tipos de ligação e eletronegatividade
- **PhET:** geometria molecular com modelo VSEPR

Roteiro metodológico:

- Identificar o princípio ativo do fármaco no DrugBank
- Obter o código SMILES
- Visualizar e analisar a estrutura no MolView
- Investigar propriedades eletrônicas (cargas, orbitais, regiões reativas)
- Levantar hipóteses sobre ação do fármaco com base nas evidências estruturais
- Complementar com uso das outras ferramentas do portal

Intenção pedagógica:

Favorecer uma aprendizagem ativa e visual dos conceitos abstratos da Química, integrando ciência, tecnologia e cultura digital.

Etapa 3 – Aplicação do Conhecimento:

Proposta de intervenção ou comunicação científica sobre o uso de fármacos

Objetivo:

Aplicar os conhecimentos adquiridos em novos contextos, desenvolvendo a capacidade crítica e interventiva dos estudantes.

Figura 32 - Questionário aplicado aos professores (5/9)

21/09/2025, 21:43

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

Propostas possíveis (à escolha do grupo):

- Criação de material educativo sobre o uso responsável de medicamentos (vídeos, cartazes, podcasts)
- Simulação de campanha de saúde escolar sobre automedicação e desinformação científica
- Estudo de caso envolvendo efeitos colaterais ou resistência bacteriana
- Elaboração de mapa conceitual de interação fármaco-alvo biológico

Metodologia:

- Organização em grupos
- Utilização opcional de ferramentas digitais
- Apresentação dos trabalhos à turma ou à comunidade escolar
- Roda de conversa e autoavaliação

Avaliação:

Clareza conceitual, criatividade, aplicação dos conteúdos, relevância social da proposta

Considerações Finais

A sequência busca integrar conhecimentos científicos a contextos reais e promover a autonomia, criatividade e protagonismo dos estudantes. A avaliação desta proposta por professores de Química é fundamental para seu aprimoramento.

Após a leitura completa, prossiga para o questionário. Sua contribuição é essencial e será muito bem-vinda.

Figura 33 - Questionário aplicado aos professores (6/9)

21/09/2025, 21:43

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

1. **Você leu a sequência didática apresentada acima antes de iniciar esta avaliação?** *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não *Pular para a pergunta 1* *Pular para a pergunta 1*

Informações sobre o participante (anônimas)

2. **Você atua atualmente como professor(a) de Química?** *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

3. **Há quanto tempo você leciona Química?** *

Marcar apenas uma oval.

☐ Menos de 1 ano

☐ 1 a 5 anos

☐ 6 a 10 anos

☐ Mais de 10 anos

4. **Quais os níveis de ensino em que você atua atualmente?** *

Marque todas que se aplicam.

☐ Ensino Fundamental – Anos Finais

☐ Ensino Médio

☐ Ensino Técnico

☐ Ensino Superior

Avaliação da proposta didática

<https://docs.google.com/forms/d/12nKoYEYvjUOW6slWMlc2hgJXPKASrHrvK5ql6VsjYvk/edit>

6/9

Figura 34 - Questionário aplicado aos professores (7/9)

21/09/2025, 21:43

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

5. **A proposta da sequência didática foi apresentada de forma clara e coerente? (escala de 1 a 5)** *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1. Pouco clara
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5. Muito clara

6. **A temática dos fármacos articulada às propriedades eletrônicas da matéria é adequada para o ensino de Química?** *

7. **Você considera que o uso do PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas) foi adequado na proposta apresentada?** *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Parcialmente
- ☐ Não
- ☐ Não sei avaliar

Figura 35 - Questionário aplicado aos professores (8/9)

21/09/2025, 21:43

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

8. **A sequência contempla habilidades importantes segundo a BNCC e estimula o desenvolvimento cognitivo dos estudantes? *Explique brevemente.*** *

9. **Qual o grau de aplicabilidade dessa sequência didática no seu contexto escolar? (escala de 1 a 5)** *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1. Pouco aplicável
- ☐ 2.
- ☐ 3.
- ☐ 4.
- ☐ 5. Totalmente aplicável

10. **Você tem sugestões para aprimorar essa proposta didática?** *

Figura 36 - Questionário aplicado aos professores (9/9)

21/09/2025, 21:43

Avaliação da Sequência Didática – Fármacos e Propriedades Eletrônicas da Matéria

11. **Gostaria de fazer mais algum comentário?** *(opcional)*

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários