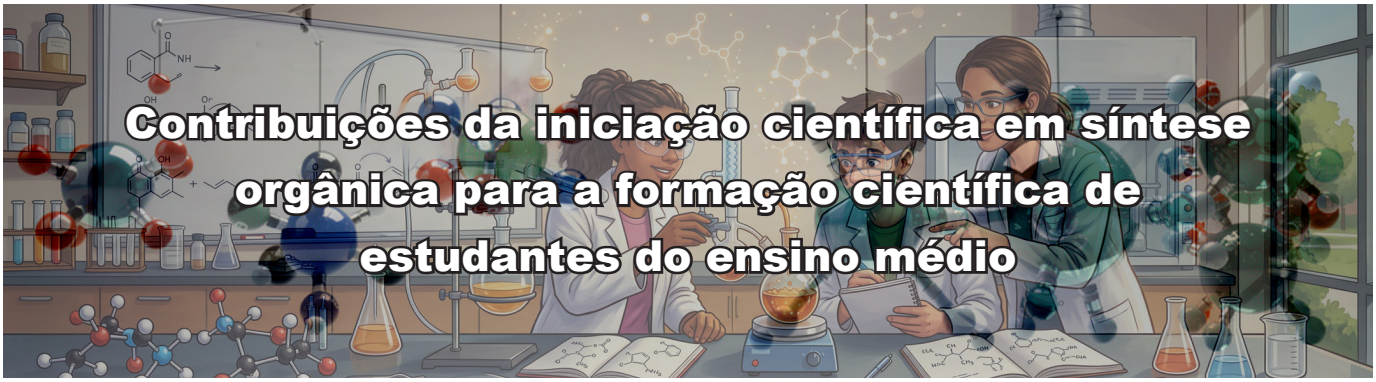


Contribuições da iniciação científica em síntese orgânica para a formação científica de estudantes do ensino médio

Bruno Henrique Sacoman Torquato Silva e Jefferson Luis Ferrari

Neste trabalho, analisaram-se as contribuições da iniciação científica em síntese orgânica para sete estudantes do ensino médio participantes de projetos desenvolvidos entre 2022 e 2026. As atividades envolveram estudos sobre aminação redutiva catalisada por Nb_2O_5, permitindo a participação dos estudantes em diferentes etapas do processo de pesquisa, como planejamento experimental, monitoramento de reações, purificação de compostos e interpretação de resultados, em uma aplicação inédita de compostos de nióbio nesse tipo de reação. As contribuições da experiência foram analisadas a partir de observações realizadas durante o desenvolvimento das atividades, que evidenciaram avanços na compreensão de conceitos de Química Orgânica, maior familiaridade com a pesquisa científica e o desenvolvimento da autonomia, do pensamento crítico e da interpretação de dados. Também foi observada maior aproximação dos estudantes com o ambiente universitário e com a produção do conhecimento científico.

▶ iniciação científica, ensino médio, síntese orgânica ◀

Recebido em 05/06/2026; aceito em 18/09/2026

Introdução

O ensino de Química no ensino médio enfrenta diversos desafios relacionados às condições em que o processo de ensino-aprendizagem é desenvolvido. Em muitas escolas públicas, a reduzida carga horária destinada à Química, frequentemente associada à ausência de atividades experimentais regulares, acaba favorecendo abordagens centradas na transmissão e memorização de conteúdos (Albano e Delou, 2024). Limitações estruturais nas escolas, como a ausência de laboratórios de ciências, reforçam esse cenário (Inep, 2025). Nesse contexto, a Química é frequentemente percebida pelos estudantes como uma disciplina excessivamente teórica e pouco contextualizada, o que pode comprometer a aprendizagem e reduzir o interesse pelos conteúdos abordados (Klein e Lüdke, 2019).

Entre as diferentes vertentes da Química abordadas no ensino médio, a Química Orgânica apresenta desafios adicionais relacionados à sua complexidade, ao elevado nível de abstração e à necessidade de articulação entre diferentes formas de representação molecular. Conteúdos envolvendo nomenclatura, propriedades físico-químicas, estruturas moleculares e transformações químicas frequentemente exigem dos estudantes habilidades de interpretação simbólica e de visualização espacial, que nem sempre são adequadamente desenvolvidas no contexto escolar tradicional. Além disso, práticas pedagógicas centradas na memorização de nomenclaturas e funções orgânicas podem dificultar a construção de relações conceituais significativas sobre os conteúdos de Química Orgânica (Klein e Lüdke, 2019).

Diante dessas dificuldades, abordagens fundamentadas na experimentação investigativa têm recebido crescente atenção, especialmente por favorecerem maior protagonismo estudantil e a aproximação entre conceitos teóricos e práticos. No caso da Química Orgânica, atividades experimentais podem contribuir para a compreensão de estruturas moleculares, propriedades físico-químicas e transformações químicas de maneira mais significativa e contextualizada (Santos Junior *et al*., 2021; Maciel e Leão, 2022).

Embora a experimentação constitua uma importante estratégia para o ensino de Química Orgânica, a iniciação científica no ensino médio (IC-EM) amplia as oportunidades de aprendizagem ao inserir os estudantes em projetos de pesquisa desenvolvidos em ambientes acadêmicos. Ao participar desses projetos, os estudantes podem se envolver em diferentes etapas da pesquisa, incluindo a leitura de literatura especializada, o planejamento e a execução de experimentos, a análise de resultados, a escrita científica e a participação

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

em eventos acadêmicos (Massi e Queiroz, 2010; Santos Junior *et al*., 2021; Maciel e Leão, 2022; Arantes, 2025; Picolo e Kotsuka, 2024). Esse conjunto de experiências pode contribuir para a alfabetização científica dos estudantes, ao favorecer o contato com práticas de investigação e a compreensão da produção do conhecimento científico (Sasseron e Carvalho, 2011; Sasseron, 2015; Heinrichs *et al*., 2025; Coppi, 2023).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as contribuições da iniciação científica em Química Orgânica, com ênfase em síntese orgânica, na formação científica de estudantes do ensino médio participantes de projetos de IC-EM no período de 2022 a 2026. Para isso, foram consideradas as experiências e observações relacionadas ao desenvolvimento conceitual, à autonomia investigativa e à capacidade de leitura e interpretação de literatura científica, bem como os impactos acadêmicos e formativos decorrentes da participação nesses projetos.

Metodologia

Contexto da pesquisa

O estudo foi desenvolvido em um laboratório de pesquisa vinculado a uma instituição pública de ensino superior, entre os anos de 2022 e 2026. Ao longo desse período, participaram das atividades sete estudantes regularmente matriculados no ensino médio de escolas públicas, selecionados por meio de três editais de IC-EM . Os projetos tiveram como foco o estudo de metodologias sintéticas voltadas à obtenção de aminas por meio de reações de aminação redutiva empregando pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) e diferentes agentes redutores.

Desenvolvimento das atividades

As atividades foram fundamentadas em uma abordagem investigativa, com o objetivo de inserir os estudantes em diferentes etapas do processo científico e promover sua participação ativa na construção do conhecimento.

No contexto experimental, os estudantes realizaram reações de aminação redutiva voltadas à síntese de aminas, investigando diferentes variáveis reacionais, como efeito do solvente, da temperatura, da concentração do catalisador e utilização de diferentes agentes redutores sobre o andamento das reações e rendimentos dos compostos obtidos. As atividades envolveram planejamento e preparo das reações, pesagem e manipulação de reagentes, preparo de soluções, montagem de sistemas sob refluxo, acompanhamento das reações por cromatografia em camada delgada (CCD), além de etapas de extração líquido-líquido e purificação dos produtos por cromatografia em coluna, quando necessário. Durante essas atividades, também foram utilizados modelos moleculares para auxiliar na visualização espacial das moléculas e na compreensão das transformações estruturais envolvidas nos processos de formação dos produtos e subprodutos. Na etapa de caracterização dos compostos obtidos, os estudantes realizaram análises e interpretações de espectros de Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio e Carbono (RMN de ^{1}H e RMN de ^{13}C).

Ao longo das atividades experimentais, diferentes conceitos químicos foram trabalhados de forma articulada às etapas práticas desenvolvidas no laboratório. Durante o preparo das reações e manipulação dos reagentes, foram abordados conteúdos relacionados à estequiometria, concentração de soluções, funções orgânicas e segurança em laboratório. A investigação das variáveis reacionais envolveu conceitos de polaridade, solubilidade, cinética química, catálise, ácidos de Lewis e efeitos eletrônicos sobre a reatividade química. Nas etapas de monitoramento e purificação dos produtos, foram trabalhados conceitos relacionados à polaridade molecular, interações intermoleculares e técnicas cromatográficas. Já na caracterização estrutural dos compostos, foram abordados de forma simplificada conceitos fundamentais de espectroscopia de RMN, incluindo deslocamento químico e correlação entre sinais espectroscópicos e estrutura molecular.

Além das atividades experimentais, os estudantes participaram de reuniões do grupo de pesquisa, leitura e discussão de literatura científica, elaboração de resumos e apresentação de trabalhos em eventos acadêmicos, o que contribuiu para sua inserção no ambiente universitário e para a familiarização com diferentes práticas associadas à pesquisa científica.

Acompanhamento e análise da experiência

O acompanhamento das atividades foi realizado ao longo do desenvolvimento dos projetos de iniciação científica, considerando a participação dos estudantes nas diferentes etapas da pesquisa e as observações realizadas pelos autores durante a execução das atividades experimentais, caracterizando uma abordagem qualitativa da experiência (André, 2013). As observações ocorreram de forma contínua durante o acompanhamento das atividades experimentais e das interações com os estudantes, incluindo discussões sobre os procedimentos realizados e a interpretação dos resultados obtidos. Não foi utilizado um instrumento estruturado de coleta de dados.

O acompanhamento das atividades foi realizado ao longo do desenvolvimento dos projetos de iniciação científica, considerando a participação dos estudantes nas diferentes etapas da pesquisa e as observações realizadas pelos autores durante a execução das atividades experimentais, caracterizando uma abordagem qualitativa da experiência.

Foram considerados aspectos relacionados à aprendizagem de conceitos de Química Orgânica e à participação nas atividades experimentais. Também foram considerados o desenvolvimento da autonomia e da capacidade de tomada de decisão, a leitura e interpretação de literatura científica e de dados experimentais, o pensamento crítico, a organização e a segurança no laboratório. A aproximação dos estudantes com o ambiente universitário e com a produção do conhecimento científico

também foi considerada. O Quadro 1 apresenta exemplos desses aspectos e as situações em que foram observados ao longo dos projetos.

Quadro 1: Exemplos de aspectos observados ao longo do desenvolvimento dos projetos.

Aspecto considerado	Evidências/atividades em que foi observado
Compreensão de conceitos de Química Orgânica	Discussões sobre mecanismos de reação, grupos funcionais, polaridade de solventes, condições reacionais e interpretação de resultados.
Autonomia investigativa	Participação no planejamento experimental e na tomada de decisões sobre as condições reacionais, considerando os resultados obtidos e as informações disponíveis na literatura.
Interpretação de dados	Análise de cromatoplacas de CCD, características visuais dos processos e produtos obtidos, interpretação de espectros de RMN e comparação dos resultados experimentais.
Literatura científica	Leitura e discussão de artigos científicos relacionados aos temas desenvolvidos, observando dificuldades e familiaridade com esse tipo de literatura.
Pensamento crítico	Discussão de resultados, identificação de dificuldades experimentais e proposição de alternativas.
Comunicação científica	Elaboração de resumos e apresentações em eventos científicos.
Segurança no laboratório	Cumprimento das normas de segurança durante a execução das atividades experimentais.
Aproximação com o ambiente universitário	Participação nas atividades do laboratório, eventos acadêmicos, reuniões com o grupo de pesquisa e visitas a outros laboratórios.

Resultados e Discussão

Desenvolvimento das atividades experimentais em síntese orgânica

As atividades experimentais desenvolvidas tiveram como foco reações de aminação redutiva visando à obtenção de aminas utilizando pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) como catalisador. A escolha dessa transformação está relacionada à ampla relevância das aminas, compostos presentes em biomoléculas, agroquímicos, polímeros e em diversos fármacos, bem como ao fato de a aminação redutiva constituir uma das principais estratégias sintéticas para sua obtenção (Afanasyev *et al.*, 2019). O Nb_2O_5 foi selecionado devido ao seu caráter ácido de Lewis, à elevada estabilidade química e ao potencial emprego em metodologias sintéticas mais sustentáveis. Além disso, trata-se de um material de grande importância estratégica para o Brasil, cuja aplicação em reações de aminação redutiva ainda não havia sido relatada na literatura, conferindo caráter investigativo aos estudos desenvolvidos (Anm, 2024; Arpini *et al.*, 2015).

Primeiramente, foi proposta aos estudantes a construção, com o auxílio de modelos moleculares do tipo bola-e-vareta, das estruturas dos reagentes (**1**, anilina; **2**, benzaldeído), do produto desejado (**3**) e dos possíveis subprodutos da reação (**4** e água) (Figura 1). Essa atividade permitiu visualizar a reorganização dos átomos ao longo da transformação química, identificar as ligações rompidas e formadas durante o processo reacional e compreender, de maneira mais concreta, as etapas envolvidas na formação das aminas. Além de favorecer a discussão de conceitos relacionados à estrutura molecular e à reatividade química, a atividade contribuiu para a compreensão das etapas experimentais desenvolvidas posteriormente no laboratório.

Por meio dessa atividade, também foi possível discutir conceitos relacionados ao mecanismo da reação. Inicialmente, ocorre a condensação entre os reagentes **1** e **2**, levando à formação da imina **4**. Na ausência de um agente redutor, essa imina permanece como produto majoritário da

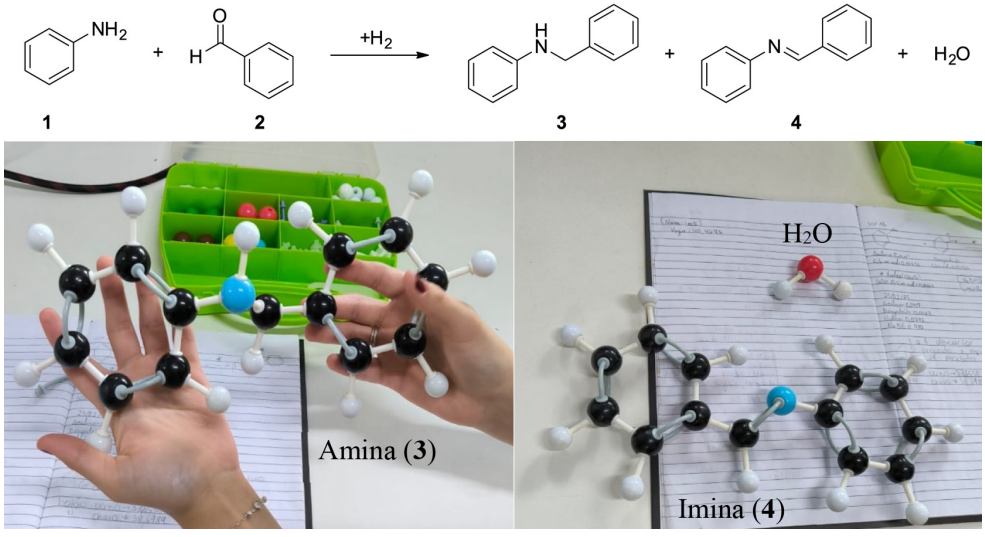


Figura 1: Estudo estrutural sobre a aminação redutiva utilizando modelos moleculares.

reação. Entretanto, na presença de um agente redutor, ocorre a redução da ligação C=N do intermediário **4**, resultando na formação da amina **3**, que é o produto desejado da aminação redutiva.

Em relação às condições experimentais da reação, no primeiro projeto de IC-EM, os estudantes investigaram diferentes variáveis reacionais, incluindo solvente, temperatura e agente redutor. Os resultados indicaram melhor desempenho em etanol sob refluxo, utilizando $NaBH(OAc)_3$ como agente redutor. Posteriormente, no segundo projeto, foi avaliada a influência da concentração de Nb_2O_5 sobre a eficiência da reação e os rendimentos dos produtos de interesse, sendo observados rendimentos satisfatórios (24-53%) mesmo com baixas cargas catalíticas. Também foi investigada a influência do tempo reacional, sendo estabelecidas 12 horas como a condição mais adequada para a transformação.

Embora os rendimentos mais baixos tenham inicialmente gerado frustração entre os estudantes, a análise conjunta dos resultados permitiu discutir limitações da metodologia e a importância da otimização das condições experimentais. Em particular, observou-se que o aumento da carga de Nb_2O_5 nem sempre proporciona ganhos significativos de rendimento, permitindo discutir com os estudantes a importância de avaliar criticamente os resultados e evitar o uso desnecessário de maiores quantidades de catalisador.

Além disso, os estudantes compararam os resultados obtidos com dados da literatura. Na comparação com o Al_2O_3 empregado em condições idênticas, o Nb_2O_5 apresentou desempenho superior (Kumar *et al.*, 2012). Já em outros sistemas, utilizando catalisadores à base de metais nobres e/ou condições mais elaboradas, como hidrogênio sob pressão e irradiação por micro-ondas, foram observados rendimentos superiores aos obtidos com o Nb_2O_5. Apesar dos maiores rendimentos observados nesses sistemas, a metodologia desenvolvida pelos estudantes emprega condições reacionais mais simples, o que favorece sua execução e aplicação em diferentes contextos laboratoriais. Essa atividade permitiu discutir a importância da otimização de parâmetros experimentais e da análise crítica de resultados científicos.

Todas as reações realizadas ao longo dos projetos foram acompanhadas por cromatografia em camada delgada (CCD), permitindo aos estudantes monitorar o consumo dos reagentes e a formação dos produtos ao longo do tempo reacional. Essa etapa favoreceu discussões relacionadas à polaridade molecular, interação dos compostos com as fases estacionária e móvel, além da interpretação dos perfis cromatográficos obtidos. Na Figura 2A é apresentado o aparato experimental geral utilizado nas reações, composto por agitador magnético com aquecimento, banho de óleo de silicone, balão reacional e condensador de refluxo. Já na Figura 2B é apresentada uma placa de CCD obtida durante o monitoramento das reações realizadas pelos estudantes. Nela, é possível observar manchas correspondentes à amina **3** e à imina **4** nas amostras analisadas, bem como vestígios da anilina (**1**) utilizada como reagente de partida. A análise desses resultados permitiu aos estudantes acompanhar a evolução da reação e compreender como a cromatografia em camada delgada pode ser empregada para monitorar transformações químicas.

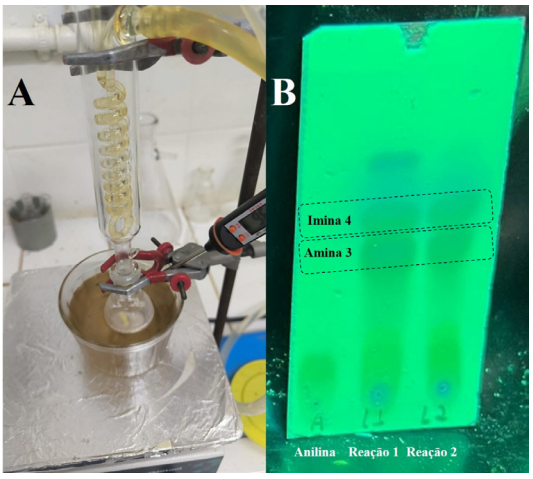


Figura 2: (A) Aparato experimental utilizado nas reações; (B) Foto de uma CCD realizada durante o projeto.

Após o término das reações, os produtos obtidos foram submetidos à extração líquido-líquido e posteriormente purificados por cromatografia em coluna utilizando sílica gel como fase estacionária. Os sistemas eluentes empregados foram definidos com base nos resultados obtidos por CCD, permitindo aos estudantes compreender a relação entre a polaridade dos compostos, a escolha da fase móvel e a eficiência da separação. Essas atividades favoreceram discussões sobre interações intermoleculares, técnicas cromatográficas e estratégias de purificação amplamente utilizadas em síntese orgânica.

Para confirmação da formação das aminas de interesse, os estudantes realizaram a análise e interpretação de espectros de RMN de ^1H e de ^{13}C. A Figura 3 apresenta um dos espectros de RMN de ^1H obtidos durante os projetos e utilizado nas discussões desenvolvidas com os estudantes.

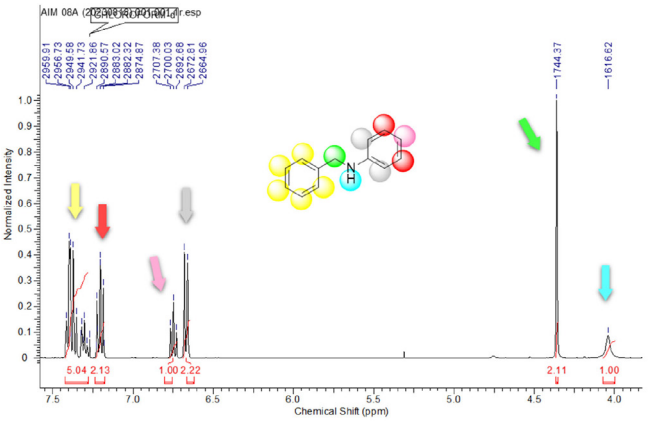


Figura 3: Espectro de RMN de ^1H do composto 3 obtido durante o desenvolvimento dos projetos ($CDCl_3$, 400MHz).

A análise dos espectros de RMN foi realizada de forma gradual, partindo da estrutura molecular dos compostos

e relacionando suas características estruturais básicas aos sinais observados nos espectros, sem aprofundamento nos aspectos teóricos da técnica. Durante a análise dos espectros, os estudantes foram orientados a identificar o sinal associado ao grupo CH_2 (destacado em verde na Figura 3), formado após a redução da ligação imínica e característico do produto esperado. Além disso, a verificação da ausência de sinais característicos da imina ou de outras impurezas também foi considerada na análise. Em um primeiro momento, os alunos apresentaram dificuldades na interpretação dos dados de RMN. Contudo, no decorrer dos projetos, passaram a identificar esses sinais e a utilizar essas informações para chegar a conclusões sobre a formação dos produtos e o estado de pureza das amostras. Assim, os estudantes puderam correlacionar, de maneira simplificada, os dados espectroscópicos com a estrutura molecular dos compostos sintetizados.

Em um primeiro momento, os alunos apresentaram dificuldades na interpretação dos dados de RMN. Contudo, no decorrer dos projetos, passaram a identificar esses sinais e a utilizar essas informações para chegar a conclusões sobre a formação dos produtos e o estado de pureza das amostras. Assim, os estudantes puderam correlacionar, de maneira simplificada, os dados espectroscópicos com a estrutura molecular dos compostos sintetizados.

Uma vez definidas as condições reacionais mais adequadas e confirmada a formação do produto desejado, estudantes vinculados ao terceiro projeto de IC-EM realizaram reações envolvendo anilinas e aldeídos aromáticos contendo diferentes substituintes (Esquema 1). Essa etapa teve como objetivo avaliar a influência das características eletrônicas dos substratos sobre o desempenho da reação de aminação redutiva.

Os resultados demonstraram a aplicabilidade da metodologia para diferentes combinações de substratos, levando à formação das aminas correspondentes em rendimentos moderados (38-58%). De modo geral, observou-se que a natureza eletrônica dos substituintes influenciou a eficiência da transformação, permitindo discutir com os estudantes aspectos relacionados à reatividade química. Em especial, os substratos contendo grupos nitro apresentaram menores rendimentos, o que possibilitou relacionar as diferenças observadas nos resultados às características estruturais dos substratos. Dessa forma, os resultados experimentais permitiram aos estudantes relacionar a variação dos rendimentos às características dos substratos e discutir aspectos de reatividade química em uma situação real de pesquisa.

Em conjunto, as atividades desenvolvidas proporcionaram aos estudantes experiências relacionadas às diferentes etapas da pesquisa científica, envolvendo planejamento experimental, execução de reações, purificação de compostos, caracterização estrutural e interpretação de resultados. A articulação entre essas atividades favoreceu a compreensão de conceitos de Química Orgânica em um contexto investigativo, aproximando os estudantes de práticas e formas de raciocínio características da pesquisa científica.

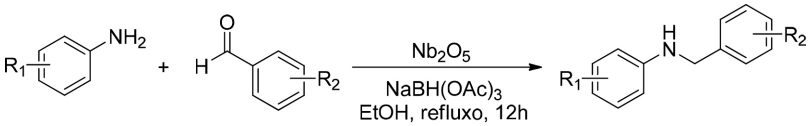
Aspectos pedagógicos e contribuições da iniciação científica

Com o objetivo de compreender os impactos formativos da experiência, foram consideradas as observações realizadas ao longo do desenvolvimento dos projetos de iniciação científica. De modo geral, essas observações evidenciaram que a participação nas atividades de pesquisa favoreceu maior aproximação com a Química Orgânica, com o ambiente universitário e com práticas associadas à investigação científica (Arantes, 2025; Picolo e Kotsuka, 2024).

Os três projetos de iniciação científica envolveram sete estudantes ao longo do período investigado. Desses, quatro cursavam o 2º ano do ensino médio quando ingressaram no projeto, dois estavam no 3º ano e um no 1º ano. Um aspecto que merece destaque é que nenhum dos participantes possuía experiência prévia em laboratórios de Química antes do ingresso na iniciação científica, evidenciando que os projetos representaram, para esses estudantes, o primeiro contato com atividades experimentais.

No início das atividades, observou-se que os estudantes apresentavam pouca familiaridade com a Química Orgânica, sendo que alguns ainda não haviam estudado formalmente conteúdos dessa área no ensino médio. Ao longo do desenvolvimento dos projetos, foram observados avanços na compreensão de conceitos de Química Orgânica, especialmente nas discussões sobre aspectos das reações, grupos funcionais, condições reacionais, polaridade, reatividade e interpretação de resultados. A participação nas atividades experimentais possibilitou aos estudantes relacionar conceitos teóricos aos fenômenos observados durante as atividades de laboratório, estabelecendo conexões entre os conteúdos de Química Orgânica e as situações vivenciadas durante a IC-EM. Também foi observada maior aproximação dos estudantes com a linguagem utilizada na pesquisa científica.

Os estudantes também apresentaram participação ativa nas etapas investigativas dos projetos, envolvendo-se em decisões experimentais relacionadas à escolha de solventes,



Esquema 1: Validação da metodologia por meio da aplicação do método em reações entre diferentes anilinas e aldeídos aromáticos.

temperatura reacional, concentração do catalisador e demais condições experimentais, com diferentes níveis de autonomia. Esse aspecto evidencia o caráter investigativo das atividades desenvolvidas, permitindo maior envolvimento dos estudantes com o planejamento experimental e com a interpretação crítica dos resultados obtidos (Picolo e Kotsuka, 2024).

Outro aspecto relevante refere-se ao contato com a literatura científica. Durante os projetos, os estudantes tiveram contato com artigos científicos relacionados aos temas desenvolvidos, sendo observadas dificuldades principalmente relacionadas à linguagem científica, às nomenclaturas e à compreensão de conceitos mais avançados. Ainda assim, observou-se avanço gradual na familiarização com a leitura científica.

Também foi observada maior compreensão dos estudantes sobre a ciência e a pesquisa científica. Durante os projetos, os estudantes passaram a compreender melhor aspectos relacionados ao funcionamento da pesquisa científica, à organização necessária para o desenvolvimento das atividades e ao caráter coletivo do trabalho científico.

Essas observações reforçam o importante papel da iniciação científica na formação científica e pessoal dos estudantes, contribuindo para a contextualização dos conteúdos de Química, para a compreensão do funcionamento da pesquisa científica e para o desenvolvimento de atitudes relacionadas à responsabilidade, à autonomia, ao pensamento crítico e ao comprometimento (Arantes, 2025).

Foram observadas ainda contribuições que transcendem a aprendizagem de conteúdos de Química, incluindo contribuições para as escolhas acadêmicas e profissionais dos estudantes, além do desenvolvimento de habilidades relacionadas ao trabalho em equipe, evidenciadas nas atividades e discussões realizadas durante os encontros semanais.

Por fim, o desenvolvimento dos projetos também resultou na produção e divulgação de trabalhos científicos em eventos acadêmicos. Entre os produtos gerados, destacam-se resumos e apresentações em eventos locais e regionais. Merece destaque o trabalho apresentado em um seminário institucional de pesquisa e pós-graduação, contemplado com um prêmio de destaque em iniciação científica do ensino básico e profissionalizante, que posteriormente foi indicado para representar a instituição em uma edição do Prêmio Destaque na Iniciação Científica e Tecnológica do CNPq. Esses resultados evidenciam não apenas o envolvimento dos estudantes com a pesquisa, mas também o reconhecimento acadêmico das atividades desenvolvidas.

Embora os projetos tenham sido desenvolvidos em ambiente universitário, algumas das estratégias utilizadas podem ser adaptadas à realidade da educação básica. Entre elas, o uso de modelos moleculares constitui uma alternativa simples e de baixo custo para auxiliar os estudantes na representação e visualização tridimensional das estruturas. A utilização desses modelos pode favorecer a compreensão de conceitos relacionados à estrutura molecular, às funções orgânicas e à representação das transformações químicas, contribuindo para reduzir o nível de abstração desses conteúdos. Dessa forma, mesmo em escolas com infraestrutura laboratorial limitada, o uso de modelos moleculares pode constituir uma estratégia complementar para aproximar os estudantes dos conceitos de Química Orgânica. Outras possibilidades incluem estudos de caso baseados em situações de pesquisa e experimentos simples e de baixo custo, permitindo explorar aspectos do processo investigativo sem a necessidade de reproduzir as condições experimentais utilizadas neste trabalho.

Cabe destacar que o número reduzido de participantes constitui uma limitação deste estudo. Os resultados apresentados refletem as observações realizadas durante o acompanhamento de sete estudantes envolvidos em uma experiência específica de iniciação científica e, portanto, não permitem generalizações estatísticas para outros contextos ou populações. Os resultados devem ser compreendidos no contexto de um estudo de caso qualitativo (Alves-Mazzotti, 2006).

Conclusões

Os resultados obtidos demonstraram que a iniciação científica em síntese orgânica constitui uma estratégia relevante para a formação científica de estudantes do ensino médio. A participação dos estudantes em atividades de pesquisa envolvendo síntese orgânica possibilitou o contato com diferentes etapas da pesquisa, articulando conceitos de Química Orgânica às práticas experimentais desenvolvidas em ambiente universitário.

Do ponto de vista educacional, observou-se avanço na compreensão de conteúdos de Química Orgânica, maior familiaridade com a pesquisa científica e desenvolvimento de habilidades relacionadas à autonomia, ao pensamento crítico e à interpretação de dados. Além disso, a experiência contribuiu para aproximar os estudantes do ambiente acadêmico e da produção do conhecimento científico.

Nesse sentido, embora as atividades descritas tenham sido desenvolvidas em ambiente universitário, alguns de seus elementos podem ser adaptados para escolas sem acesso a laboratórios de pesquisa ou parcerias com universidades. Além do uso de modelos moleculares, empregado neste trabalho, abordagens baseadas em estudos de caso ou em experimentos simples e de baixo custo podem constituir alternativas para explorar conceitos relacionados à Química Orgânica e à investigação científica no contexto escolar.

Em conjunto, as observações realizadas evidenciam o potencial da iniciação científica como estratégia de formação científica e acadêmica ainda na educação básica, contribuindo para o desenvolvimento da alfabetização científica e para a formação de estudantes mais críticos, autônomos e participativos. Embora o número reduzido de participantes limite a possibilidade de generalização dos resultados, este estudo, de caráter qualitativo, apresenta achados que indicam o potencial da iniciação científica em síntese orgânica como estratégia de aproximação entre a educação básica e

a universidade, contribuindo para a formação científica de estudantes do ensino médio. Estudos futuros, envolvendo um número maior de participantes e diferentes contextos institucionais, poderão contribuir para ampliar a compreensão desses impactos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Bruno Henrique Sacoman Torquato Silva (bsacoman@ufu.br) é doutor em Ciências, com ênfase em Química Orgânica, pela Universidade Estadual Paulista. Atualmente é professor do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). **Jefferson Luis Ferrari** (jeffersonferrari@ufu.br) é doutor em Ciências, com ênfase em Química Inorgânica, pela Universidade de São Paulo. Atualmente é professor do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Referências

AFANASYEV, O. I.; KUCHUK, E.; USANOV, D. L. e CHUSOV, D. Reductive amination in the synthesis of pharmaceuticals. *Chemical Reviews*, v. 119, n. 23, p. 11857–11911, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Sumário Mineral Brasileiro 2024: Nióbio. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2024/niobio-2024-ano-base-2023.pdf, acesso em: mai. 2026.

ALBANO, W. M. e DELOU, C. M. C. Principais dificuldades descritas na aprendizagem de química para o ensino médio: revisão sistemática. *Debates em Educação*, v. 16, n. 38, p. 1-23, 2024.

ALVES-MAZZOTTI, A. J. Usos e abusos dos estudos de caso. *Cadernos de Pesquisa*, v. 36, n. 129, p. 637-651, 2006.

ANDRÉ, M. O que é um estudo de caso qualitativo em educação? *Revista da FAEEBA – Educação e Contemporaneidade*, v. 22, n. 40, p. 95-103, 2013.

ARANTES, S. L. F. Política de iniciação científica no ensino médio: revisão integrativa da literatura com egressos. *Jornal de Políticas Educacionais*, v. 19, n. 1, p. 1-19, 2025.

ARPINI, B. H.; BARTOLOMEU, A. A.; ANDRADE, C. K. Z.; SILVA-FILHO, L. C. e LACERDA JR, V. Recent advances in using niobium compounds as catalysts in organic chemistry. *Current Organic Synthesis*, v. 12, n. 5, p. 570-583, 2015.

COPPI, M. Evolução da alfabetização científica dos alunos ao longo do ensino médio de um colégio particular de São Paulo. *ACTIO: Docência em Ciências*, v. 8, n. 1, p. 1-19, 2023.

HEINRICHS, M. M.; MESQUITA, F. A. S.; ROSA, C. T. W. e LOCATELLI, A. Alfabetização científica no ensino médio: desdobramentos e implicações para o processo de ensino aprendizagem – uma revisão de estudos. *Revista Signos*, v. 46, n. 1, p. 604-632, 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). *Microdados do Censo Escolar da Educação Básica 2025*. Disponível em: https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/microdados/censo-escolar, acesso em: mai. 2026.

KLEIN, V. e LÜDKE, E. Uma investigação sobre motivação e atitudes de estudantes frente a aulas de Química Orgânica no ensino médio. *Vivências, Erechim*, v. 15, n. 29, p. 149-162, 2019.

KUMAR, V.; SHARMA, S.; SHARMA, U.; SINGH, B. e KUMAR, N. Synthesis of substituted amines and isoindolinones: catalytic reductive amination using abundantly available AlCl3/PMHS. *Green Chemistry*, v. 14, n. 12, p. 3410-3414, 2012.

MACIEL, A. G. e LEÃO, M. F. Teaching organic chemistry through experimental activities: analysis based on the perspective of high school chemistry teachers in Confresa/MT. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 10, p. 1-11, 2022.

MÄKI-ARVELA, P.; SIMAKOVA, I. L. e MURZIN, D. Y. One-pot amination of aldehydes and ketones over heterogeneous catalysts for production of secondary amines. *Catalysis Reviews*, v. 65, n. 4, p. 501-568, 2021.

MASSI, L. e QUEIROZ, S. L. Estudos sobre iniciação científica no Brasil: uma revisão. *Cadernos de Pesquisa*, v. 40, n. 139, p.173-197, 2010.

PICOLO, G. F. e KOTSUKA, L. S. Iniciação científica no ensino médio: uma proposta de metodologia ativa e superação do esoterismo. *Revista Eletrônica Sala de Aula em Foco*, v. 13, n. 1, p. 260-279, 2024.

SANTOS JUNIOR, J. B.; OLIVEIRA, L. C.; SIMONYI, B. V. e JUNIOR, L. C. L. Uma investigação sobre a efetividade da experimentação e da simulação para a aprendizagem significativa em química orgânica. *Revista Thema*, v. 19, n. 3, p. 499-516, 2021.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências,* v. 17, n. especial, p. 49-67, 2015.

SASSERON, L. H. e CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SCARPA, D. L.; SASSERON, L. H. e SILVA, M. B. E. O ensino por investigação e a argumentação em aulas de ciências naturais. *Tópicos Educacionais*, v. 23, n. 1, p. 7-27, 2017.

Abstract: *Contributions of undergraduate research in organic synthesis to the scientific training of high school students.* In this study, the contributions of scientific initiation in organic synthesis to seven high school students participating in research projects developed between 2022 and 2026 were analyzed. The activities involved studies on Nb_2O_5-catalyzed reductive amination, allowing students to engage in different stages of the research process, including experimental design, reaction monitoring, compound purification, and result interpretation, in an unprecedented application of niobium compounds in this type of reaction. The contributions of the experience were analyzed based on observations made throughout the activities, which evidenced improvements in the students' understanding of Organic Chemistry concepts, greater familiarity with scientific research, and the development of autonomy, critical thinking, and data-interpretation skills. Greater engagement of the students with the university environment and the production of scientific knowledge was also observed.
Keywords: scientific initiation, high school education, organic synthesis