

GANHOS DE APRENDIZAGEM DE GRADUANDOS EM QUÍMICA RESULTANTES DO ENSINO POR MEIO DE ESTUDOS DE CASO INTERROMPIDOS

LEARNING GAINS OF UNDERGRADUATE CHEMISTRY STUDENTS RESULTING FROM TEACHING THROUGH INTERRUPTED CASE STUDIES

GANANCIAS DE APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE QUÍMICA COMO RESULTADO DE LA ENSEÑANZA MEDIANTE ESTUDIOS DE CASOS INTERRUMPIDOS

Salete Linhares Queiroz & Ricardo Matos

Universidade de São Paulo, Brasil
salete@iqsc.usp.br

RESUMO | A acrilamida é um composto químico que se forma em alimentos ricos em amido, por meio da reação de Maillard. Em 1994, a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) designou-a como um potencial carcinogênico humano e, desde então, a redução dos níveis de acrilamida é alvo de iniciativas regulatórias. Este trabalho relata uma prática educativa voltada à construção de conhecimentos sobre a acrilamida em alimentos, baseada na aplicação de Estudos de Caso Interrompidos (ECI) e resolução por graduandos em química. Os estudantes solucionaram os ECI a partir de sugestões plausíveis de estratégias de mitigação da acrilamida e as suas percepções sobre a prática educativa foram favoráveis, evidenciando o desenvolvimento de habilidades, com destaque para o trabalho em grupo. Embora o cenário descrito esteja restrito à química de alimentos, o leque de possibilidades para aplicação dos ECI é vasto, podendo abarcar práticas educativas em outros ramos da química.

PALAVRAS-CHAVE: Questões sociocientíficas, Segurança Alimentar, Educação Científica, Aprendizagem Baseada em Problemas.

ABSTRACT | Acrylamide is a chemical compound that forms in starchy foods through the Maillard reaction. In 1994, the International Agency for Research on Cancer (IARC) designated it as a potential human carcinogen, and since then, reducing acrylamide levels has been target of regulatory initiatives. This paper reports on an educational practice aimed at building knowledge about acrylamide in food, based on the application of Interrupted Case Studies (ICS) and resolution by undergraduate chemistry students. The students solved the ECIs based on plausible suggestions for acrylamide mitigation strategies, and their perceptions of the educational practice were favorable, demonstrating the development of skills, with an emphasis on group work. Although the scenario described is restricted to food chemistry, the range of possibilities for applying ECIs is vast and can encompass educational practices in other branches of chemistry.

KEYWORDS: Socioscientific Issues, Food Safety, Science Education, Problem-Based Learning.

RESUMEN | La acrilamida es un compuesto químico que se forma en alimentos ricos en almidón, mediante la reacción de Maillard. En 1994, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer la designó como un posible carcinógeno humano y, desde entonces, la reducción de los niveles de acrilamida es objeto de iniciativas reguladoras. Este trabajo describe una práctica educativa orientada a la construcción de conocimientos sobre la acrilamida en los alimentos, basada en la aplicación de Estudios de Casos Interrumpidos (ECI) y su resolución por parte de estudiantes de química. Los estudiantes resolvieron los ECI a partir de sugerencias plausibles de estrategias de mitigación de la acrilamida y sus percepciones sobre la práctica educativa fueron favorables, lo que puso de manifiesto el desarrollo de habilidades, con especial énfasis en el trabajo en grupo. Aunque el escenario descrito se limita a la química de los alimentos, el abanico de posibilidades de aplicación de los ECI es amplio y puede abarcar prácticas educativas en otras ramas de la química.

PALABRAS CLAVE: Cuestiones sociocientíficas, Seguridad Alimentaria, Educación Científica, Aprendizaje Basado en Problemas.

1. INTRODUÇÃO

A acrilamida é um composto químico formado em alimentos ricos em amido quando submetidos a altas temperaturas, por meio da reação de Maillard, na qual o aminoácido asparagina reage com açúcares redutores, como glicose e frutose (Araújo, 2019). A *European Food Safety Authority* (EFSA), em 2015, identificou concentrações mais elevadas de acrilamida em produtos como batatas fritas, biscoitos, pães torrados e café torrado, sendo estes os principais alimentos que contribuem para a exposição dietética média, estimada entre 0,4 e 1,9 µg/kg de peso corporal por dia. Embora os resultados epidemiológicos em humanos sejam, até o momento inconclusivos, resultados de pesquisas confirmam que, em animais, a acrilamida e seu metabólito genotóxico, o glicidamida, podem causar danos ao DNA, neurotoxicidade e efeitos reprodutivos, o que levou agências como a *International Agency for Research on Cancer* (IARC) e a *Food and Drug Administration* (FDA) a classificá-la como “provavelmente carcinogênica ao homem” (Grupo 2A) (FDA, 2016).

Agências regulatórias, como a IARC e a FDA, sugerem estratégias para reduzir a formação de acrilamida durante o preparo de alimentos. Tais estratégias envolvem controle de tempo e temperatura de cocção, seleção adequada de matérias-primas e pré-tratamentos, como imersão ou branqueamento de batatas. Estudos demonstram que fritar alimentos cortados até um tom dourado claro, em vez de deixar escurecer, reduz significativamente os níveis do contaminante; armazenar batatas em temperatura ambiente, em local escuro, evita o acúmulo de açúcares redutores que potencializam a formação de acrilamida durante o cozimento (EFSA, 2015; FDA, 2016).

Outras estratégias de mitigação envolvem intervenções enzimáticas e inovações no processamento alimentar. A adição de asparaginase antes do cozimento converte a asparagina em ácido aspártico, bloqueando a participação desse aminoácido na reação formadora de acrilamida, com eficácia comprovada em produtos como batatas fritas e pães, sem alterar sabor ou textura (Jana, et al., 2025). A fermentação com bactérias ácido-láticas, como *Lactobacillus plantarum* ou *Streptococcus lutetiensis*, pode reduzir os níveis de acrilamida em 30–70 % ao longo do processo fermentativo, além de melhorar propriedades sensoriais em pães e similares (Jia, et al., 2021). Técnicas como revestimentos com hidrocolóides, atmosfera inerte de cozimento ou fritura a ar/vácuo também têm demonstrado reduções substanciais (48 – 98 %) na formação de acrilamida, sendo opções viáveis que visam unir segurança alimentar e qualidade nutricional (Jana, et al., 2025).

Frente ao exposto, tornam-se essenciais práticas educativas que promovam a compreensão crítica e aplicada da reação de Maillard e seus desdobramentos, a partir da articulação de conteúdos de química dos alimentos a contextos reais e socialmente relevantes, ampliando a capacidade dos estudantes de compreender, analisar e propor soluções fundamentadas para problemas complexos. Com base nessa perspectiva, o presente manuscrito tem como objetivo relatar e analisar uma prática educativa, voltada à promoção de ganhos de aprendizagem sobre o assunto, com a construção de conhecimentos conceituais e o desenvolvimento de habilidades valorizadas na formação do profissional da química, de acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química (Brasil, 2001), a saber: trabalho em grupo, resolução de problemas, comunicação científica e compreensão sobre a construção do conhecimento científico. Para tanto, três Estudos de Caso Interrompidos (ECI)

(Herreid, 2005) sobre os mecanismos de formação e as abordagens de controle desse contaminante foram aplicados em um curso de Bacharelado em Química.

No tópico, a seguir, são apresentados os fundamentos da construção e aplicação de ECI e discutida a potencialidade do seu uso no ensino de química. Espera-se, assim, que este relato inspire a adoção dessa modalidade de estudo de caso em ambientes de ensino, contribuindo para uma formação interdisciplinar, alinhada às demandas contemporâneas de uma educação voltada à cidadania.

2. FUNDAMENTAÇÃO E CONTEXTO

O método de estudo de caso é uma variação da Aprendizagem Baseada em Problemas (em língua inglesa, *Problem Based Learning*), cujas origens remontam à McMaster University School of Medicine, no Canadá, na década de 1960 (Sá, et al., 2007). O método coloca os estudantes em contato com casos, que são narrativas que expressam situações vivenciadas por pessoas e exigem a mobilização de conhecimentos para o alcance de soluções, promovendo uma aprendizagem mais ativa e integrada. A sua difusão ocorreu para vários campos do conhecimento, sendo atualmente empregado em distintos níveis e modalidades de ensino. No ensino de química, em particular, observa-se um crescimento expressivo do seu uso, especialmente no nível superior, contemplando componentes curriculares, como química geral, analítica, orgânica e ambiental (Bernardi & Pazinato, 2022).

De particular interesse para o desenvolvimento deste trabalho são os casos denominados de “interrompidos”, ECI. A sua elaboração inicia-se com a seleção de textos originais de pesquisa que fornecem dados (gráficos, tabelas etc.) para a construção da narrativa do ECI, garantindo que se baseie em informações bem fundamentadas. Estes dados são inseridos progressivamente em um contexto que inclui personagens e situações relacionadas ao problema em foco no ECI, de modo a contemplar a abordagem de etapas usualmente levadas a cabo em uma pesquisa científica, desde a identificação do problema até a análise de resultados (Herreid, 2005).

O ECI, como um todo, é estruturado em um número variável de partes, de acordo com a quantidade de dados que se pretende explorar e do nível de aprofundamento desejado, sendo cada uma delas composta pela própria narrativa e perguntas, que a sucedem, com o propósito de instigar o leitor a adotar uma postura investigativa (Cunha, et al., 2025).

A aplicação dos ECI ocorre de maneira progressiva, de acordo com Herreid (2005): inicialmente, o professor apresenta aos estudantes um problema de pesquisa real, instigando-os a formular hipóteses e propor soluções em grupos. Em seguida, novas informações são disponibilizadas em etapas, favorecendo a revisão crítica das interpretações anteriores e o refinamento das propostas. Esse processo é reiterado até o momento em que a solução original dos pesquisadores é apresentada, permitindo comparação com as alternativas elaboradas pelos estudantes e simula o processo investigativo da ciência. Dessa forma os alunos são desafiados a analisar dados de forma crítica, a reconstruir suas hipóteses diante de novas evidências e a engajar-se ativamente na resolução de problemas.

A literatura recente destaca que a resolução de ECI é propícia para favorecer dimensões da aprendizagem em ciências. No campo da argumentação, Lima e Queiroz (2024) demonstram que os estudantes, ao resolverem ECI, recorrem à mobilização de evidências empíricas e

conceituais na sustentação de suas respostas. Em relação ao desenvolvimento do pensamento crítico, Hall e Starzec (2024) apontam que os ECI favorecem o engajamento dos estudantes e estimulam a avaliação criteriosa de informações e a ponderação de alternativas. De modo convergente, Hibbard (2019) destaca que os ECI acentuam as habilidades analíticas de alta ordem dos estudantes.

Na prática educativa aqui relatada, os três ECI solucionados pelos graduandos abordam a temática da acrilamida em alimentos, são compostos de quatro partes e denominados de: Batata Quente...Quente...Quente, Expresso Curioso e Promoção no Forno. Pesquisas reportadas em textos originais de pesquisa que investigam a quantificação da acrilamida e estratégias de mitigação em alimentos inspiraram a produção de cada um deles. O trabalho de Viklund, et al. (2010) forneceu elementos para a elaboração do primeiro caso, referente às batatas, o de Gottschalk, et al. (2018) para o segundo caso, referente ao café, e o de Capuano, et al. (2009), para o terceiro caso, referente a pães torrados.

O ECI “Batata Quente...Quente...Quente” insere o estudante em um contexto cotidiano. A narrativa descreve um estudante de química (Fábio), que, durante um almoço familiar, levanta a questão da presença de acrilamida em batatas fritas de uma rede de fast-food (Emecê Donais). Motivados pelos questionamentos da família, o protagonista decide conduzir uma investigação para determinar o teor da acrilamida no alimento e explorar métodos para sua mitigação. De forma similar, o ECI Expresso Curioso utiliza um cenário familiar para graduandos. Dois estudantes de química, consumidores regulares de café, questionam a quantidade de acrilamida presente na bebida. A partir dessa curiosidade, eles se propõem a quantificá-la nos grãos de café de uma marca popular e desenvolver propostas para sua redução. Por fim, o ECI Promoção no Forno contextualiza o problema em um ambiente profissional. Uma estagiária de química em uma empresa de panificação busca uma oportunidade de efetivação. Ela propõe um projeto para desenvolver um produto com menor teor de acrilamida. Essa iniciativa a leva a analisar a sua concentração nos produtos existentes e a idealizar novas estratégias de mitigação, unindo a segurança alimentar ao desenvolvimento de novos produtos.

Os ECI, na íntegra, com a apresentação da narrativa e perguntas referentes às quatro partes estão disponíveis, em língua portuguesa e inglesa, em <https://gpeqsc.iqsc.usp.br/estudos-de-caso-interrompidos/>.

3. DESCRIÇÃO DA PRÁTICA EDUCATIVA E SUA IMPLEMENTAÇÃO

A prática educativa foi aplicada em componente curricular de comunicação científica, oferecido a estudantes do curso de Bacharelado em Química do Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo. Em 2021, devido à pandemia de COVID-19, as aulas ocorreram de forma remota, utilizando as plataformas Google Meet para aulas síncronas e Tidia-ae para envio de materiais e atividades. O objetivo da disciplina consiste em aprimorar as habilidades de comunicação científica dos alunos e de leitura crítica de textos originais de pesquisa. Nessa perspectiva, as atividades didáticas, realizadas em turmas (doravante denominadas de Turma I e II), compostas por 27 e 28 alunos, respectivamente, ocorreram em duas etapas: na primeira, os estudantes leram e discutiram dissertações portuguesas que abordam a acrilamida em alimentos (Seródio, 2015; Jesus, 2016); na segunda, foram convidados

a solucionar os três ECI, mencionados anteriormente, sobre a mesma temática. Esta segunda parte é o alvo de atenção neste trabalho.

Os estudantes foram divididos em seis grupos de quatro a cinco membros na primeira aula, doravante, os grupos que solucionaram o caso Batata Quente...Quente...Quente, na Turma I passam a ser denominados de G1 e G2 e os da Turma II de G3 e G4. Para o caso Expresso Curioso os grupos da Turma I passam a ser denominados de G5 e G6 e os da Turma II de G7 e G8. Para o caso Promoção no Forno, os grupos da Turma I passam a ser denominados de G9 e G10 e os da Turma II de G11 e G12.

As atividades didáticas ocorreram em quatro aulas, com duração aproximada de duas horas, cada uma relacionada a uma parte do caso. Nas aulas, cada parte do ECI foi trabalhado em duas sessões: na primeira, a professora apresentou a narrativa; na segunda, os alunos discutiram questionamentos relacionados ao caso. Após a interação em sala, os grupos respondiam as perguntas que sucediam a narrativa e depositavam suas respostas por escrito na plataforma Tidia-ae. A seguir, é descrito o procedimento realizado nas aulas para o ECI “Batata Quente...Quente...Quente”, que foi o mesmo adotado para os demais casos:

Aula 1: Leitura da parte I do ECI (Porção Perigosa), com introdução dos estudantes à narrativa, na qual Fábio contata a empresa Emecê Donais para obter informações sobre os tipos de batatas comercializados. A partir dos dados de variedades, tempos e temperaturas de armazenamento das batatas, que foram fornecidos a ele pela empresa, e constam no ECI, os estudantes discutiram o assunto em sala e foram convidados a responder as três perguntas ilustradas na Tabela 1.

Aula 2: Leitura da parte II do ECI (Passando a Batata), com apresentação aos estudantes de um segundo trecho da narrativa, no qual Fábio estabelece uma parceria com a Emecê Donais, de forma a auxiliá-la no desenvolvimento de uma metodologia de mitigação da acrilamida. Para isso, a empresa fornece amostras de batatas submetidas a diferentes formas de armazenamento, que são analisadas no que diz respeito aos teores de acrilamida. Após discussão dos dados, os alunos responderam as duas perguntas ilustradas na Tabela 1.

Aula 3: Antes da leitura da parte III do ECI (Lavando as Batatas), a professora conduziu um debate entre grupos, no qual foram discutidas as estratégias de mitigação da acrilamida estudadas na parte II. A parte III apresentou os resultados do branqueamento (choque térmico) como estratégia adotada por Fábio, destacando a função da técnica na inativação de enzimas que favorecem o escurecimento enzimático e na redução de açúcares redutores, precursores da reação de Maillard. Em seguida, os alunos responderam a uma pergunta ilustrada na Tabela 1.

Aula 4: Leitura da parte IV do ECI (Batatinha Frita 1, 2, 3!!), quando foram apresentados os resultados experimentais após a aplicação do branqueamento, mencionado na parte III, em diferentes tipos de batatas e períodos de armazenamento, incluindo comparações com os níveis de referência estabelecidos pela EFSA. Os estudantes foram então solicitados a responder três questões, que contam na Tabela 1, e, como tarefa extraclasse, elaboraram um quadro-síntese que sumarizasse todas as ações e resultados obtidos no ECI.

Tabela 1- Perguntas apresentadas aos estudantes em cada aula

Aula	Perguntas
1	1. O que vocês já sabem sobre o caso? Ou seja, o que já leram sobre situações semelhantes? Quais experiências já tiveram que remetem ao assunto abordado no caso? 2. Baseados na narrativa, proponham uma questão a ser investigada pelo grupo. 3. Baseados na narrativa, construam hipóteses sobre as possíveis respostas para a questão de pesquisa formulada pelo grupo
2	1. Como os dados obtidos por Fábio auxiliam o grupo a responder as questões formuladas na etapa anterior? As hipóteses construídas na aula anterior podem ser corroboradas ou refutadas com os novos dados? 2. Estabeleçam relações entre os dados apresentados até o momento e, em seguida, elaborem afirmações que possam ser fornecidas aos personagens do caso, de modo a esclarecê-los sobre a qualidade das batatas fritas da Emecê Donais. Quanto maior o número de afirmações, com as devidas justificativas, mais satisfatória será a resposta do grupo.
3	1. A partir do debate ocorrido: a) Quais relações (similaridades, diferenças, curiosidades etc.) são possíveis de estabelecer entre a proposta de Fábio e aquela adotada pelo grupo de vocês para mitigação da acrilamida nas batatas fritas do Emecê Donais? b) Quais critérios foram utilizados por ele que não foram contemplados pelo grupo de vocês e vice-versa? c) Vocês julgam pertinente alterar o procedimento proposto frente ao que foi discutido no debate? Argumentem a favor das respostas.
4	1. Estabeleçam relações entre os dados apresentados na Figura 1 e, em seguida, elaborem afirmações que possam ser fornecidas a Fábio, de modo a ajudá-lo no seu propósito, mencionado na parte II do caso. Quanto maior o número de afirmações e recomendações, com as devidas justificativas, mais satisfatória será a resposta do grupo. 2. Comparem os valores de concentração da acrilamida obtidos por Fábio, com as concentrações máximas permitidas na legislação e apresentem conclusões a respeito. 3. O que é possível afirmar com relação às tendências que vocês explicitaram no exercício da parte III para a análise da acrilamida após a realização do branqueamento? Justifiquem a resposta.

Em suma, na aplicação de todos os ECI, foram levadas a cabo ações similares, sucedidas por solicitação de apresentação de respostas a perguntas que, na Aula 1, visaram a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre o problema em pauta, formulação de questão para investigação e levantamento de hipóteses, a partir da análise de dados preliminares

apresentados na narrativa. Na Aula 2, dados adicionais foram apresentados, com o propósito de ampliação da discussão e retomada das hipóteses elaboradas anteriormente, enquanto na Aula 3 foi promovido o debate e solicitação de respostas a perguntas que levassem à contraposição entre as conclusões do grupo e a do(a) protagonista do ECI. A Aula 4 caracterizou a finalização do processo, com possibilidade de comparação entre os dados finais obtidos no ECI e aqueles fornecidos pela legislação, no que tange aos níveis de referência para a presença de acrilamida nos gêneros alimentícios estudados.

Ao final da resolução das quatro partes do ECI, os estudantes responderam, de forma anônima, a um questionário estruturado contendo oito afirmações sobre as suas percepções a respeito da prática educativa.

4. AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DA PRÁTICA E PRINCIPAIS RESULTADOS

A avaliação da implementação da prática educativa considerou: as respostas fornecidas pelos grupos aos quadros-síntese (construídos na parte IV, como tarefa extraclasse), totalizando 12 quadros, correspondente a cada um dos grupos; as respostas individuais ao questionário de percepções, mencionado no parágrafo anterior, respondidos por estudantes de ambas as turmas, presentes na ocasião da aplicação.

No que diz respeito ao questionário (Escala Likert de 5 pontos, com variação entre 1 = Concordo totalmente e 5 = Discordo totalmente), foi calculado o grau de concordância dos estudantes com base na frequência das respostas. Este pode ser expresso por meio de porcentagem, o que pode classificar os valores médios obtidos para cada afirmação em quatro grupos: grau de discordância forte, grau de discordância moderado, grau de concordância moderado e grau de concordância forte. Para isso, foi utilizada a Equação (1) que permitiu a obtenção de valores equivalentes do valor-médio (VM) em percentual, entendido como uma medida estatística que sintetiza as respostas e expressa a tendência central das opiniões dos estudantes em relação a cada afirmação.

$$\text{Grau de Concordância em \%} = (VC - 1) \times \frac{100}{(\text{Número de pontos da escala Likert}-1)} \quad (1)$$

4.1 Análise dos quadros-síntese

A análise das respostas presentes nos quadros-síntese elaborados pelos grupos, que sistematizaram as estratégias de mitigação da acrilamida discutidas em cada ECI, possibilitaram identificar tanto os conhecimentos químicos mobilizados quanto as justificativas apresentadas pelos estudantes para a escolha de cada estratégia. A seguir, são apresentados resultados de cada caso, destacando as soluções propostas e a forma como os grupos sustentaram suas decisões no enfrentamento do problema.

No caso Batata Quente...Quente...Quente, G1 a G4 propuseram quatro estratégias de mitigação da acrilamida em batatas fritas, sucintamente descritas na Tabela 2.

G1 a G4 reconheceram a eficácia do branqueamento, enquanto outras estratégias, como imersão em ácido acético ou cátions bivalentes, foram apresentadas como podendo ser utilizados

isoladamente ou em combinação para potencializar a redução da acrilamida. G1 opta pelo uso de ácido acético, enquanto os outros grupos se concentram no branqueamento e em outras técnicas. Além disso, G1 enfatiza a necessidade de conscientização da população sobre os malefícios do consumo de alimentos fritos e industrializados como parte da solução.

Tabela 2- Estratégias de mitigação da acrilamida apresentadas por G1 a G4

Grupo (Turma)	Descrição da estratégia
G1 (Turma I)	Imersão das batatas em ácido acético: consiste em mergulhar as batatas em ácido acético antes da fritura, reduzindo o pH e, consequentemente, a formação de acrilamida. A estratégia é simples, de baixo custo e acessível.
G2 (Turma I) e G3 (Turma II)	Branqueamento: envolve um choque térmico, com imersão das batatas em água quente seguida de água gelada, inativando enzimas que favorecem o escurecimento enzimático e reduzindo açúcares redutores. Essa estratégia é eficaz e de fácil execução, mas, isoladamente, pode não atingir os níveis de acrilamida recomendados por órgãos regulatórios.
G3 (Turma II)	Imersão das batatas em cátions bivalentes: utiliza sais, como cloreto de cálcio, que interagem com a batata para reduzir a formação de acrilamida.
G4 (Turma II)	Armazenamento aliado ao branqueamento: envolve a manutenção de condições adequadas de armazenamento das batatas, combinada ao processo de branqueamento, como estratégia para reduzir a formação de acrilamida. Essa abordagem reforça o papel central do branqueamento na mitigação da substância, destacando a importância do controle prévio da matéria-prima.

A Tabela 2 também indica que, no caso do G3, a imersão em cátions bivalentes foi combinada com o branqueamento, potencializando a redução da substância. O grupo também enfatizou a importância de escolher batatas com baixo teor de asparagina.

As estratégias apresentadas por G1 a G4 revelam clara adequação conceitual, uma vez que se apoiam em mecanismos químicos reconhecidos — como a redução de precursores da acrilamida pela remoção ou modificação de compostos reativos — e dialogam diretamente com as soluções discutidas no artigo de referência, demonstrando coerência entre a fundamentação teórica e a aplicação prática proposta pelos estudantes.

No caso Expresso Curioso, G5 a G8 propuseram duas estratégias de mitigação da acrilamida no café, sucintamente descritas na Tabela 3.

Considerando a Tabela 3, no que diz respeito ao G5, este destacou a eficácia, disponibilidade e baixo risco ambiental da enzima, enquanto G7 descreveu detalhadamente o processo de aplicação: abertura dos poros dos grãos do café com vapor, adição da enzima e água deionizada, incubação, secagem, moagem e extração. Ambos reconheceram o alto custo da técnica, especialmente para pequenas empresas. G8 combinou o uso da asparaginase com o descascamento dos grãos verdes do café durante a colheita, estratégia que consiste em remover

a casca externa dos grãos antes da torra, facilitando a redução de acrilamida e aumentando a viabilidade econômica e a valorização da safra.

Tabela 3 - Estratégias de mitigação da acrilamida apresentadas por G5 a G8

Grupo (Turma)	Descrição da estratégia
G5 (Turma I), G7 e G8 (Turma II)	Uso da enzima asparaginase: envolve a conversão da asparagina, precursor da acrilamida, em compostos inofensivos, reduzindo significativamente a formação da substância sem alterar o perfil sensorial do café.
G6 (Turma I)	Torra a vácuo: envolve a torrefação dos grãos em ambiente de baixa pressão, controlando melhor a temperatura e o tempo, o que reduz a formação de acrilamida pela reação de Maillard.

Com relação à torra a vácuo, G6 recomendou usar grãos do café maduros e descascados, destacando que temperaturas elevadas podem degradar a acrilamida e que a técnica não altera significativamente as características organolépticas do café. O grupo optou por não utilizar a asparaginase para evitar alterações sensoriais e aumento de asparagina em grãos imaturos.

Em síntese, os grupos apresentaram três abordagens principais: aplicação da asparaginase isoladamente (G5 e G7), torra a vácuo (G6) e combinação da asparaginase com descascamento dos grãos verdes (G8). A escolha da estratégia envolveu critérios de eficácia, preservação sensorial e viabilidade econômica, destacando que a mitigação da acrilamida pode ser alcançada por diferentes caminhos, isolados ou combinados. Novamente, observou-se uma adequação conceitual nas escolhas, pois cada estratégia demonstra coerência com os mecanismos conhecidos de formação e degradação da acrilamida.

No caso Promoção no Forno, G9 a G12 propuseram quatro estratégias de mitigação da acrilamida nos pães torrados, sucintamente descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Estratégias de mitigação da acrilamida apresentadas por G5 a G8

Grupo (Turma)	Descrição da estratégia
G9 (Turma I)	Acidificação com ácido tartárico e extrato de café: consiste em adicionar ácido tartárico às massas, reduzindo o pH e, conseqüentemente, a formação de acrilamida durante o cozimento.
G10 (Turma I)	Substituição parcial da farinha associada à asparaginase: envolve a conversão da asparagina, precursor da acrilamida, em compostos inofensivos, reduzindo a acrilamida. A substituição da farinha visa ajustar a composição da massa, contribuindo para a mitigação da substância.
G11 (Turma II)	Uso de ácido sórbico: consiste no uso como conservante, oferecendo uma alternativa de baixo custo que aumenta a vida útil do produto, embora seu efeito direto na acrilamida seja secundário.
G12 (Turma II)	Associação da asparaginase a diferentes tipos de fermento: consiste na combinação da aplicação da enzima com a escolha adequada do fermento durante a fermentação e a cocção, reduzindo a acrilamida de forma eficaz.

G9 a G12 convergem na ideia de que a redução do pH é uma estratégia relevante para mitigar a formação de acrilamida, embora proponham diferentes ácidos (tartárico, não especificado, sórbico) e combinem a abordagem com outras hipóteses. G9 destaca o uso da asparaginase e a influência do tempo/temperatura, enquanto G10 sugere a glicina e a substituição de farinhas; G11 também considera a asparaginase, mas enfatiza a substituição da asparagina por glicina, diferenciando-se dos demais; já G12 apresenta a proposta mais abrangente, incluindo variações nos tipos de fermentos e farinhas, além de considerar o tempo de fermentação como um fator determinante, ampliando as hipóteses em relação aos outros grupos.

De modo geral, evidenciou-se uma adequação conceitual nas escolhas apresentadas, uma vez que as estratégias propostas se alinham a mecanismos já consolidados no entendimento da formação da acrilamida: a redução do pH interfere na reação de Maillard, tornando-a menos favorável; a utilização da asparaginase ou da glicina atua diretamente sobre o principal precursor da acrilamida, a asparagina, bloqueando ou desviando a via reacional; e a substituição de matérias-primas, como farinhas e fermentos, reflete a compreensão de que a composição do alimento exerce papel determinante na intensidade da reação. Assim, as hipóteses formuladas não apenas dialogam com a literatura científica da área, mas também demonstram coerência conceitual ao propor intervenções plausíveis e fundamentadas no processo químico envolvido.

4.2 Análise do questionário de percepção dos estudantes sobre a prática educativa

A análise do questionário de percepção traz novas contribuições à avaliação da implementação da prática educativa. A Figura 1 ilustra o grau de concordância dos estudantes (Turma I e Turma II) referente às afirmativas nele presentes. Este foi preenchido por 50 alunos, sendo 25 em cada turma, 91% dos alunos matriculados. A discussão dos resultados, quanto à

contribuição da prática educativa, é realizada em cinco perspectivas: aquisição de conhecimentos científicos; trabalho em grupo; resolução de problemas; comunicação científica; e compreensão sobre a construção do conhecimento científico.

As afirmativas relacionadas à aquisição de conhecimentos científicos se relacionam, mais especificamente, ao entendimento de conceitos da área de química dos alimentos, ao conhecimento de técnicas analíticas instrumentais, e ao desenvolvimento de habilidades de interpretação de representações visuais em textos científicos, como gráficos, tabelas e fotografias. Conforme ilustra a Figura 1, mais de 80% dos estudantes de ambas as turmas concordaram que a prática educativa facilitou o entendimento de conceitos relacionados à química de alimentos, corroborando estudos anteriores que utilizaram ECI em diferentes contextos (Gottschalk; Starzec, 2024; Matos, et al., 2024). Entretanto, o índice de concordância foi menor (75%) em relação ao domínio de técnicas analíticas, como a cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS), o que não é surpreendente, dada a complexidade das mesmas. Quanto à habilidade de interpretação de representações visuais em textos científicos, observou-se um elevado grau de concordância (86-92%), resultado que reforça a importância de atividades didáticas que desenvolvam o letramento gráfico no ensino de ciências (Lima, et al., 2025), aqui entendido como um conhecimento que permite aos estudantes lidar com distintos modos de comunicação visual (Roth, 2002) que permeiam este ensino.



Figura 1 Grau de concordância referente às afirmativas presentes no questionário de percepção dos estudantes da Turma I e Turma II sobre a prática educativa. Fonte: Própria Autoria.

No que se refere ao desenvolvimento da habilidade de trabalho em grupo, esta afirmativa apresentou os maiores índices concordância: acima de 90% na Turma I e 89% na Turma II. Este resultado reflete o caráter colaborativo da atividade, realizada integralmente no formato de grupo, sendo uma característica marcante na resolução de ECI (Herreid, 2005).

O desenvolvimento da habilidade de resolução de problemas, no entanto, foi reconhecido por uma parcela menor dos estudantes, com índices inferiores a 85% em ambas as turmas. Esse resultado corrobora achados que indicam que a concordância com essa afirmação não supera 81% em uma das turmas analisadas (Cunha, et al., 2025).

As afirmativas relacionadas à comunicação científica se relacionam, mais especificamente, ao desenvolvimento da habilidade de argumentação em linguagem científica e busca de informações em bases de dados científicas. Em relação à argumentação, observou-se um índice de concordância menor, especialmente na Turma I (inferior a 80%), ainda que a resolução dos ECI exigisse formulação e defesa de ideias ao longo de praticamente todas as quatro aulas. Tal percepção sugere a necessidade de explicitar aos estudantes o papel central da argumentação na atividade, especialmente durante o momento de debate e apresentação de soluções. No que se refere à habilidade de busca por informações científicas, a concordância foi de 81% e 89% nas Turmas I e II, respectivamente, sugerindo que as solicitações específicas de pesquisa em bases de dados e análise de textos científicos favoreceram o seu aprimoramento. Estes resultados reforçam o papel dos ECI na promoção da autonomia investigativa, conforme apontado por Herreid (2005).

A afirmativa relacionada à compreensão sobre a construção do conhecimento científico, ou seja, sobre as etapas de uma pesquisa científica, obteve concordância por parte de 78% dos estudantes da Turma I e 83% da Turma II. Apesar dos índices mais modestos em relação às demais habilidades, essa concordância é expressiva, considerando a escassez de práticas educativas que permitam vivência potencialmente capaz de promover tal entendimento em ambiente de ensino de química (Veloso, et al., 2020).

5. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Este estudo investigou as contribuições da aplicação de ECI para a construção de conhecimentos sobre a acrilamida em alimentos, por parte de graduandos em química. Os resultados mostraram a capacidade dos estudantes de analisar problemas, propor estratégias e construir soluções a respeito do assunto. No que se refere aos conteúdos químicos, foi observado que a resolução dos ECI levou a ganhos de aprendizagem, principalmente, em torno de dois eixos fundamentais: transformações químicas, cujos ganhos ficaram evidenciados pela compreensão sobre a formação e mitigação da acrilamida; materiais e suas propriedades, cujos ganhos ficaram evidenciados a partir do estabelecimento de relações e entendimento de propriedades e características de insumos como farinhas, aminoácidos e açúcares.

A análise das percepções dos estudantes sobre a prática educativa revelou a sua boa receptividade, assim como o favorecimento de desenvolvimento de habilidades fundamentais para o profissional da química. O compartilhamento de tais percepções, juntamente à constatação dos referidos ganhos de aprendizagem, estimulam e corroboram a continuidade de ações voltadas para a incorporação de ECI em contextos educacionais no ensino de química.

Cabe destacar o caráter inovador da prática educativa, sendo a aplicação de ECI ainda escassamente reportada na literatura (Bernardi & Pazinato, 2022), assim como as limitações a ela associadas, dentre as quais destaca-se o processo de produção dos ECI, que pode ser dificultado quando a temática abordada não é amplamente contemplada em textos originais de pesquisa, os quais inspiram a sua elaboração.

Embora o cenário descrito neste trabalho esteja restrito à química de alimentos, o leque de possibilidades para aplicação dos ECI é vasto, podendo abarcar práticas educativas em outros ramos da química, como química de materiais e química ambiental, na busca de um aprendizado mais dinâmico, crítico e conectado à realidade dos estudantes.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (Processo 300448/2025-2).

REFERÊNCIAS

- Araújo, J. M. A. (2019). *Química de alimentos: Teoria e prática* (7ª ed.). Editora UFV.
- Bernardi, F. M., & Pazinato, M. S. (2022). The case study method in chemistry teaching: A systematic review. *Journal of Chemical Education*, 99(3), 1211-1219. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00733>
- Brasil. Ministério da Educação. (2001). *Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química (CNE/CES nº 1.303/2001)*. MEC.
- Capuano, E., Oliviero, T., Fogliano, V., & Pellegrino, L. (2009). Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. *Food Research International*, 42(9), 1295–1302. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.018>
- Cunha, P. L. R., Almondes, R. R. S., & Queiroz, S. L. (2025). Estudos de caso interrompidos: Produção e aplicação no ensino superior de química. *Química Nova*, 48, e-202502045. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20250204>
- European Food Safety Authority. (2015). Scientific opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal*, 13(6), 4104. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4104>
- Food and Drug Administration. (2016). *Orientação para a indústria: Acrilamida em alimentos*. U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-acrylamide-foods>
- Gottschalk, L. M. F., Tavares, D. Q., Abreu, C. M. P., & Ferreira, J. B. (2018). Uso da enzima asparaginase no processamento do café arábica e robusta para redução de formação de acrilamida. In *44º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, Franca. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11807>
- Hall, K., & Starzec, K. (2024). Using an interrupted case study to engage undergraduates' critical thinking style and enhance content knowledge. *Journal on Empowering Teaching Excellence*, 8(1), 46-62. <https://doi.org/10.59620/2644-2132.1142>
- Herreid, C. F. (2005). The interrupted case method. *Journal of College Science Teaching*, 35(2), 4–5.
- Hibbard, L. (2019). Case studies for general chemistry: teaching with a newsworthy story. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2528-2531. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00420>
- Jana, A., Biswas, S., Ghosh, R., & Modak, R. (2025). Recent advances in L-asparaginase enzyme production and formulation development for acrylamide reduction during food processing. *Food Chemistry: X*, 25, 102055. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.102055>

- Jesus, A. (2016). *Estratégias de redução e mitigação da acrilamida em produtos de panificação* [Dissertação de mestrado, Universidade do Porto]. https://run.unl.pt/bitstream/10362/71861/1/Jesus_2016.pdf.
- Jia, R., Wan, X., Geng, X., Xue, D., Xie, Z., & Chen, C. (2021). Microbial L-asparaginase for application in acrylamide mitigation from food: Current research status and future perspectives. *Microorganisms*, 9(8), 1659. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081659>
- Lima, M. S., & Queiroz, S. L. (2024). Examination of the epistemic status of propositions incorporated within arguments of undergraduate chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 101(2), 467–473. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00832>
- Lima, M. S., Pozzer, L., & Queiroz, S. L. (2025). Evidence of graphical literacy in students' oral presentations: an example from undergraduate chemistry education. *Journal of Research in Science Teaching*, 62, 1319–1349. <https://doi.org/10.1002/tea.22001>
- Matos, R., Lima, M. S., Silva, G. B., & Queiroz, S. L. (2024) Teaching about chemistry related to food through the interrupted case study method. *Journal of Chemical Education*, 101(3), 1361–1366. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00886>
- Roth, W. M. Reading graphs: contributions to an integrative concept of literacy. *Journal of Curriculum Studies*, 34(1), 1-24, 2002. <https://doi.org/10.1080/00220270110068885>
- Sá, L. P., Francisco, C. A., & Queiroz, S. L. (2007). Estudos de caso em química. *Química Nova*, 30(3), 731–739. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300039>
- Seródio, P. (2015). *Acrilamida em bolachas: Ocorrência, análise e estratégias de mitigação* [Dissertação de mestrado, Universidade do Porto]. https://sigarra.up.pt/fpceup/pt/pub_geral.show_file?pi_doc_id=80383
- Veloso, G. L. F., Mendonça, P. C. C., & Mozzer, N. B. (2020). Compreensões sobre a natureza da ciência de uma licencianda em química a partir de suas reflexões sobre um estudo de caso histórico. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 22, e25329. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172020210145>
- Viklund, G. L. I., Ahrné, L., Skog, K., & Sjöholm, I. (2010). Acrylamide in crisps: Effect of blanching studied on long-term stored potato clones. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(3), 194–198. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.07.009>