

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS POR GRADUANDOS EM QUÍMICA: ACRILAMIDA EM ALIMENTOS COMO TEMÁTICA

Ricardo Matos^a e Salete Linhares Queiroz^{a,*}, ^aDepartamento de Físico-Química, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 13560-970 São Carlos – SP, Brasil

Recebido: 14/10/2025; aceito: 11/12/2025; publicado online: 16/12/2025

PROBLEM SOLVING BY UNDERGRADUATE CHEMISTRY STUDENTS: ACRYLAMIDE IN FOOD AS A THEME. This paper aims to report and analyze a teaching activity carried out in higher education with the purpose of fostering problem-solving (PS) skills in chemistry students. Three problems about acrylamide in food, in the form of interrupted case studies, were solved by students divided into twelve groups. Answers developed during the problem investigation process were analyzed considering the problem-solving skill indicators shown in the IDEAL Problem-Solving Model. The results showed the development of the groups in each of the stages outlined in the Model and the completion of the five stages for PS outlined therein by all groups, demonstrating the potential of the activity under analysis to achieve the initially outlined objective.

Keywords: Maillard reaction; problem-solving skills; chemical education.

INTRODUÇÃO

Os educadores químicos destacam recorrentemente a necessidade de desenvolvimento da habilidade de resolução de problemas (RP) de graduandos da área.¹ Recomendação corroborada nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química,² que mencionam a importância da aplicação de abordagens criativas à solução de problemas por parte dos estudantes. A RP envolve o cumprimento de etapas que incluem a própria compreensão do problema, a elaboração de um plano para solucioná-lo, a execução do plano e a revisão da solução.³ Portanto, em situações que exigem a RP, são colocadas em jogo, dentre outros aspectos, conhecimentos conceituais, elaboração de estratégias, reflexão sobre os passos a seguir e tomada de decisão. Nessa perspectiva, é relevante o oferecimento aos graduandos de oportunidades de participação em atividades didáticas que os façam lançar mão do conhecimento químico em situações concretas e socialmente relevantes para solucionar problemas, como a mitigação da formação de compostos potencialmente tóxicos nos alimentos, caso da acrilamida.

A acrilamida é um composto cuja síntese remonta ao final do século XIX, porém foi apenas em 2002 que sua formação em alimentos ricos em carboidratos, por meio da reação de Maillard, foi relatada pela primeira vez, especialmente em produtos como batatas fritas, pães e café.⁴ Desde então, a atenção da comunidade científica voltou-se intensamente para esse contaminante processual, devido ao seu reconhecido potencial neurotóxico e ao fato de ser classificado como provavelmente carcinogênico para humanos (grupo 2A) pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC).⁵ Tais descobertas suscitaram preocupação mundial, mobilizando agências regulatórias, pesquisadores e a indústria alimentícia em torno da necessidade de compreender seus mecanismos de formação e desenvolver estratégias de mitigação.⁶

As vias de formação da acrilamida envolvem, principalmente, a reação entre o aminoácido asparagina e açúcares redutores durante o aquecimento, sendo este processo intensificado em condições de altas temperaturas e baixa umidade.⁷ Diversos fatores, como tipo de

matéria-prima, condições de processamento e composição da matriz alimentar, influenciam diretamente nos teores do composto formado.⁶ Nos últimos anos, diferentes estratégias de mitigação da acrilamida têm sido avaliadas, abrangendo desde o uso de enzimas como a asparaginase até ajustes no processamento térmico.⁸

As pesquisas sobre a acrilamida repercutem no ensino de química, que procura propiciar aos estudantes condições para que alcancem a compreensão sobre as reações químicas envolvidas na sua formação e o conhecimento de estratégias que a minimizem, garantindo alimentos mais seguros e saudáveis. Este trabalho tem como objetivo relatar e analisar uma experiência inovadora no ensino superior, relacionada à referida temática, realizada com o propósito de fomentar a habilidade de RP de estudantes de química. Para tanto, três problemas sobre a acrilamida em alimentos foram construídos no formato de estudo de caso interrompido,⁹ de modo que as informações necessárias à resolução, associadas a questionamentos, foram gradativamente a eles oferecidas. Respostas elaboradas a alguns desses questionamentos foram analisadas considerando os indicadores de habilidade de RP mostrados no Modelo IDEAL *Problem-Solving*,¹⁰ descrito sucintamente no tópico, a seguir.

MODELO IDEAL *PROBLEM-SOLVING*

São reportadas na literatura¹¹ diversas ferramentas utilizadas para analisar a habilidade de RP de estudantes em diferentes níveis de ensino, dentre as quais está o Modelo IDEAL *Problem-Solving*, doravante denominado Modelo IDEAL, empregado, por exemplo, na educação em química, por Sá,¹² na caracterização de estudos de caso, a partir da observação das etapas seguidas para a obtenção das suas soluções. No contexto de componente curricular relacionado à termodinâmica química, Azizah e Nasrudin¹³ elaboraram atividades didáticas com base no referido Modelo e observaram desempenho satisfatório por parte dos estudantes no que diz respeito à compreensão de problemas, assim como no planejamento das soluções e avaliação dos resultados.

O Modelo IDEAL foi originalmente desenvolvido por Bransford e Stein,¹⁰ em 1984, como uma abordagem estruturada para a RP, visando aprimorar habilidades de pensamento crítico e analítico dos estudantes. Uma revisão sistemática conduzida por Yuriev *et al.*¹⁴

*e-mail: salete@iqsc.usp.br

Editora Associada responsável pelo artigo: Nyuara A. S. Mesquita



avaliou diversas estruturas de apoio à RP, destacando que o Modelo IDEAL fornece uma sequência clara e estruturada, que favorece o desenvolvimento eficiente das habilidades de RP dos estudantes.

O Modelo IDEAL descreve a RP como um processo estruturado em etapas, representadas pelas letras da sigla: Identificação do problema; Definição e representação do problema; Exploração de possíveis estratégias de resolução; Ação sobre as estratégias; Logros, observação e avaliação. Neste trabalho, assim como proposto por Rokhim *et al.*,¹⁵ as etapas foram utilizadas como indicadores para analisar a habilidade de RP dos estudantes durante a realização da atividade didática. O Quadro 1 mostra tais indicadores e sua respectiva descrição, adaptada para o contexto educacional aqui em estudo.

Quadro 1. Indicadores das etapas de RP baseados no Modelo IDEAL

	Indicadores das etapas de RP baseados no Modelo IDEAL	Descrição dos indicadores
I	Identificação do problema	Indicação do problema principal
D	Definição e representação do problema	Indicação das possíveis causas do problema
E	Exploração de possíveis estratégias de resolução	Identificação de estratégias para solução para o problema
A	Ação sobre as estratégias	Indicação da estratégia escolhida Apresentação de justificativa(s) para a indicação da estratégia escolhida
L	Logros, observação e avaliação	Indicação de ações futuras que podem contribuir para o aprimoramento da estratégia escolhida

RP: resolução de problemas.

Conforme ilustra o Quadro 1, a identificação do problema é observada quando os estudantes notificam a existência do problema principal que permeia o estudo de caso, enquanto a definição e representação do problema abrange a indicação das suas possíveis causas. Na etapa de exploração das possíveis estratégias ocorre a identificação das mesmas. Dentro do contexto da ação sobre as estratégias está a indicação daquela escolhida para solucionar o problema, bem como a apresentação de justificativa(s) para tanto. Por fim, com relação aos logros, observação e avaliação, são indicadas ações futuras que podem ser realizadas na perspectiva de aprimorar a estratégia escolhida para a RP.

PERCURSO METODOLÓGICO

Contexto de aplicação da atividade didática

A atividade didática foi aplicada no componente curricular Comunicação e Expressão em Linguagem Científica II (CELC-II), oferecida no segundo semestre do Curso de Bacharelado em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo (IQSC/USP), cujo objetivo principal é aprimorar habilidades de escrita, leitura e comunicação oral dos estudantes. No ano de execução da atividade, o componente foi oferecido de maneira remota, devido às restrições físicas impostas pela pandemia de COVID-19 (doença por coronavírus 2019), em duas turmas, doravante denominadas Turma I e Turma II, compostas por 28 e 29 estudantes, respectivamente. Nesse cenário, foram utilizados os ambientes virtuais Google Meet e Tidia-Ae. O primeiro subsidiou a realização das aulas semanais, sendo estas gravadas a partir da ferramenta “Gravar Reunião”, enquanto o segundo foi utilizado para repositório de materiais fornecidos

pelo docente e escaninho para depósito de tarefas realizadas pelos estudantes.

A atividade didática ocorreu em duas etapas. Na primeira, os estudantes realizaram a leitura e discussão de dissertações portuguesas^{16,17} que abordam a presença de acrilamida em alimentos. Na segunda etapa, alvo de atenção neste estudo, foram convidados a resolver três problemas relacionados à mesma temática. Durante a primeira aula, foram organizados em seis grupos de quatro a seis integrantes. Para o problema denominado “Batata Quente...Quente...Quente”, os grupos da Turma I foram identificados como G1 e G2, enquanto os da Turma II como G3 e G4. Para o problema “Expresso Curioso”, os grupos da Turma I passaram a ser chamados de G5 e G6 e os da Turma II, de G7 e G8. Por fim, para o problema “Promoção no Forno”, os grupos da Turma I foram denominados de G9 e G10 e os da Turma II, G11 e G12. Os grupos G1, G3, G4, G6 e G9, contavam com quatro membros, enquanto os grupos G5, G7, G8, G10, G11 e G12, eram compostos por cinco membros e o G2 era o único grupo que continha seis membros.

Cada problema foi subdividido de modo a ser constituído de quatro partes e cada parte é composta por uma narrativa e por questões referentes à situação em foco. O acesso, na íntegra, à narrativa e às questões pode ser realizado via site do Grupo de Pesquisa em Ensino de Química do IQSC/USP (disponível na seção “Declaração de Disponibilidade de Dados”). Cada aula, quatro no total, abordou uma das partes do problema.

As aulas duraram aproximadamente duas horas, sendo este intervalo distribuído entre os seis grupos da seguinte forma: dois grupos que estudaram um mesmo problema, por exemplo, G3 e G4 (representados na Figura 1), participaram de duas sessões (I e II). Na primeira sessão, com duração de aproximadamente 30 min, foi realizada a leitura em voz alta do problema e estabelecida discussão sobre o assunto, envolvendo a professora e os membros dos grupos, em uma sala denominada como sala de aula compartilhada, assim como oferecidas respostas por parte dos grupos, em caráter preliminar, às questões acerca da narrativa.

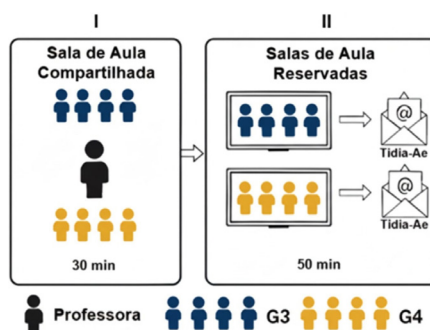


Figura 1. Esquema de aplicação dos problemas em cada aula, dividida em duas sessões, tomando como exemplo as ações realizadas por G3 e G4

A segunda sessão foi iniciada com a saída dos grupos da sala de aula compartilhada para duas outras, denominadas de salas de aula reservadas, uma destinada a cada grupo (uma para G3 e outra para G4, por exemplo, conforme Figura 1). O acesso a ambas as salas ocorria a partir de links enviados pela professora por email, onde, por aproximadamente 50 min, cada grupo aprofundava as respostas oferecidas inicialmente às questões na sala de aula compartilhada. Por fim, as respostas definitivas às questões foram apresentadas na forma de texto e depositadas por cada um dos grupos no Tidia-Ae.

Com relação à sala de aula compartilhada, quando dois grupos que estudavam um determinado problema migravam para a sala de aula reservada, os dois próximos grupos entravam para realizar a primeira sessão com a mediação da professora. Uma vez que a duração

total da aula era de aproximadamente duas horas, a cada meia hora a professora atendeu dois grupos, na primeira sessão e, posteriormente, tomou ciência das discussões ocorridas nas salas reservadas, uma vez que todas as aulas foram gravadas.

É importante frisar que, ao final de cada aula, questões foram também atribuídas aos grupos (atividades extraclasse), que deveriam depositar as respostas antes do início da aula seguinte. Além disso, na terceira aula, antes do início das sessões I e II, um breve debate foi realizado entre os dois grupos que estavam responsáveis por solucionar o mesmo problema, quando cada grupo apresentou ao outro a estratégia de mitigação da acrilamida que havia escolhido e respondeu duas perguntas sobre o assunto. O debate visou à promoção de interação entre os grupos e o aprofundamento na compreensão das estratégias de mitigação pesquisadas.

Coleta e análise de dados

Dentre as respostas elaboradas pelos grupos para as questões apresentadas para as quatro partes do problema foram selecionadas e tomadas como objeto de análise aquelas presentes na última parte (construção de um quadro-síntese sobre o processo de RP), solicitadas com caráter de atividade extraclasse, tendo em vista a proximidade dos enunciados das questões com os indicadores das etapas de RP do Modelo IDEAL. Nessa perspectiva, o Quadro 2 ilustra as questões, de forma resumida, cujas respostas foram analisadas, no que diz respeito a cada um dos doze grupos (G1 a G12).

Foram tomadas como unidade de análise (UA) cada uma das respostas oferecidas às questões apresentadas no Quadro 2, totalizando 72 (seis unidades por grupo). Cada UA foi analisada segundo níveis de desempenho, atribuídos em uma escala de 0 a 2 pontos para cada indicador, conforme ilustra o Quadro 3. Em seguida, os resultados foram transformados em porcentagens, considerando-se a soma das pontuações obtidas em relação ao valor máximo possível em cada etapa.

A exibição dos resultados em porcentagens possibilitou a construção de gráficos comparativos, nos quais é possível visualizar os níveis de alcance de cada indicador do Modelo IDEAL, por parte de cada grupo, bem como as etapas em que estes apresentaram maior ou menor desenvoltura ao longo do processo de RP.

Cabe ainda esclarecer que a referida escala foi construída visando o estabelecimento de níveis capazes de expressar: a não realização

Quadro 2. Questões cujas respostas foram analisadas e relação com os indicadores das etapas de RP do modelo IDEAL

Questões	Indicadores das etapas de RP do Modelo IDEAL
Apresentem o problema/a questão a ser resolvida	Identificação do problema
Apresentem as hipóteses formuladas para a resolução do problema	Definição e representação do problema
Descrevam as etapas e os recursos que vocês empregaram para propor uma rota de mitigação com o objetivo de avaliar as suas hipóteses. Por fim, concluam a resposta apontando se vocês fizeram alterações no planejamento inicial quando foram confrontados com o planejamento apresentado pelos personagens do caso ou pelos colegas na Parte III (Debate)	Exploração de possíveis estratégias de resolução
Apresentem a conclusão final do grupo frente ao problema explicitado no caso, assim como todas as demais conclusões alcançadas no decorrer da resolução do caso	Ação sobre as estratégias
Apresentem as justificativas que sustentam a conclusão final. Procurem reunir o maior número de justificativas e as apresentem de modo que sejam apoiadas nos dados disponíveis e em conhecimentos reportados na literatura	
Façam sugestões de novas pesquisas que os personagens do caso poderiam realizar para continuar contribuindo com as descobertas sobre a acrilamida. As sugestões podem incluir tanto trabalhos que envolvam coleta de dados experimentais, como trabalhos que envolvam a acrilamida em uma perspectiva social	Logros, observação e avaliação

Quadro 3. Níveis de desempenho atribuídos a cada indicador do Modelo IDEAL

Níveis de desempenho	Identificação do problema	Definição e representação do problema	Exploração de possíveis estratégias de resolução	Ação sobre as estratégias	Logros, observação e avaliação
	Descrição				
0	O grupo não formula uma questão ou elabora questão sem relação com o problema	O grupo não indica as possíveis causas do problema	O grupo não propõe nenhuma estratégia para a mitigação da acrilamida	O grupo não justifica a estratégia escolhida para a mitigação da acrilamida	O grupo não apresenta sugestões de ações futuras para o aprimoramento da solução escolhida
1	O grupo elabora questão parcialmente relacionada ao problema	O grupo indica até duas possíveis causas do problema	O grupo propõe até duas estratégias para a mitigação da acrilamida	O grupo justifica a estratégia escolhida para a mitigação da acrilamida, sendo esta restrita a uma dimensão (ex.: custo ou viabilidade de operação)	O grupo apresenta sugestões de ações futuras restritas a apenas uma dimensão (ex.: científica ou social)
2	O grupo elabora questão diretamente relacionada ao problema	O grupo indica mais que duas possíveis causas do problema	O grupo propõe mais de duas estratégias para a mitigação da acrilamida	O grupo justifica a estratégia escolhida para a mitigação da acrilamida, sendo esta relacionada a mais de uma dimensão (ex.: custo e viabilidade de operação)	O grupo apresenta sugestões de ações futuras relacionadas a mais de uma dimensão (ex.: social e econômica)

de ação frente ao que estabelece o indicador (nível 0); a realização de ação de forma satisfatória frente ao que estabelece o indicador (nível 1); a realização de ação de forma excelente frente ao que estabelece o indicador (nível 2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico apresenta a maneira adotada por cada grupo para solucionar a problemática com a qual foi confrontado e estabelece relações entre esta e os indicadores de habilidade de RP do Modelo IDEAL.

Problemática: acrilamida em batatas

A problemática da acrilamida em batatas foi exposta ao G1 a G4 no formato de estudo de caso interrompido, cuja narrativa conta a estória de Fábio, um estudante de química, que encontra sua mãe e irmã para um almoço no *shopping*. Ao chegar lá, e diante da vontade da irmã de comer as batatinhas fritas da rede de *fast-food* Emecê Donais, ele faz um alerta a respeito da substância acrilamida presente nesse tipo de alimento, potencialmente carcinogênica para seres humanos. Nesse contexto, com ajuda de sua orientadora de iniciação científica, Fábio decide investigar o teor de acrilamida nas batatas no *fast-food*, bem como propor estratégias de mitigação para a mesma.

Identificação do problema

A identificação do problema está atrelada à elaboração, por parte dos grupos, de questões relacionadas à mitigação da acrilamida nas batatas fritas (Quadro 1). O G1 apresentou vários questionamentos, inclusive sobre a mitigação da acrilamida, com esta UA alcançando nível 2: “Como diminuir a quantidade de acrilamida nas batatas fritas? Quais fatores influenciam na formação de acrilamida nas batatas? Qual a técnica de mitigação mais adequada para a preparação e fritura da batata em ambiente doméstico? Há alguma técnica de mitigação que não influencie no sabor e crocância da batata?”. O G2 também destacou a mitigação da acrilamida sendo esta UA igualmente classificada no nível 2: “Como mitigar a acrilamida nas batatas de Emecê Donais, sem comprometer a qualidade do produto?”.

O G3 formulou questões que tratam da mitigação da acrilamida, com enquadramento da UA no nível 2: “Qual seria a concentração de acrilamida presente em batatas fritas? Este valor seria comprometedora para a saúde de sua família? É possível mitigar a formação de tal substância? Esta mitigação é viável economicamente e de forma que não se alteram as propriedades organolépticas do alimento?”. O G4, no entanto, apresentou desempenho distinto dos demais grupos, formulando uma questão que não se refere diretamente à mitigação de acrilamida, com UA classificada no nível 1: “Após o tratamento realizado com o método de branqueamento obteve-se resultados com uma redução significativa da concentração do contaminante em todas as amostras, porém, por que mesmo com todo esse processo não se alcançou os valores de referência estabelecidos pela União Europeia para este gênero alimentício?”.

Definição e representação do problema

A definição e representação do problema estão vinculadas à apresentação, por parte dos grupos, de possíveis causas relacionadas ao problema (Quadro 1). O G1 a G4 apresentaram mais de duas possíveis causas para a formação da acrilamida nas batatas, sendo as quatro respectivas UA classificadas no nível 2. O G1 destacou que altos teores de açúcares redutores e aminoácidos favorecem a reação de Maillard, bem como que valores de pH menos ácidos e temperaturas elevadas de cocção intensificam essa reação, o que contribui para o aumento da formação do contaminante. O G2 apontou

que o pH do meio poderia afetar a quantidade final de acrilamida, e que a presença de açúcares redutores e de asparagina em maiores concentrações favoreceriam sua formação.

O G3 chamou a atenção para o fato do tipo de batata poder afetar a produção do contaminante durante a fritura, e que o tipo de óleo utilizado, o tempo de cocção e as condições de armazenamento também contribuem para variações nos teores formados, enquanto o G4 considerou fatores como tempo e temperatura de armazenamento, tipo de batata e temperatura de fritura e reconheceu que “o armazenamento prolongado, a temperaturas abaixo de 8 °C e a fritura acima de 120 °C favorecem a formação de acrilamida”, prevendo altos teores do contaminante.

Exploração de possíveis estratégias de resolução

A exploração de possíveis estratégias de resolução diz respeito à apresentação, por parte dos grupos, do planejamento de mitigação para a formação de acrilamida em batatas fritas (Quadro 1). O G1 propôs uma única estratégia, baseada na imersão das batatas em ácido acético. Trata-se de uma abordagem direta e acessível, fundamentada na redução do pH do alimento para inibir a reação de Maillard e, conseqüentemente, a formação de acrilamida, razão pela qual esta UA foi classificada no nível 1. O G2 apresentou um planejamento mais elaborado, combinando o branqueamento térmico (um pré-tratamento destinado a reduzir os precursores da acrilamida, pela imersão das batatas em água quente, seguida de imersão em água fria) com a acidificação do meio, reconhecendo a relação entre os precursores da acrilamida (açúcares redutores e asparagina) e as condições reacionais, com a UA enquadrada no nível 1.

O G3 articulou duas estratégias complementares: a imersão das batatas em solução aquosa contendo sais de cátions bivalentes (Ca^{2+}) – com potencial para interagir com a asparagina – e o branqueamento. Dessa forma, a UA foi classificada no nível 1. O G4 apresentou um planejamento detalhado, levando em consideração a associação de quatro estratégias para a mitigação da acrilamida. O branqueamento das batatas foi inicialmente planejado como imersão em água quente a 70 °C por 45 min, seguida de secagem. Após a apresentação do planejamento, o procedimento foi ajustado para imersão em água a 80 ± 1 °C por 3 min, seguida de um resfriamento em água gelada por 2 min. Essas alterações não apenas ajustam os parâmetros de tempo e temperatura, mas também introduzem uma etapa de resfriamento que preserva a textura das batatas. Dessa forma a UA foi classificada no nível 2.

Ação sobre as estratégias

A ação sobre as estratégias refere-se à apresentação, por parte dos grupos, da estratégia escolhida para mitigar a acrilamida, acompanhada de justificativas (Quadro 1). O G1 optou pela imersão das batatas em ácido acético antes da fritura. A seleção dessa técnica foi justificada com base em duas dimensões complementares: viabilidade de operação e baixo custo. O grupo destacou que o método é simples, acessível a toda a população e apresenta eficácia comprovada na literatura científica e em fontes regulatórias, como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Dessa forma, esta UA foi classificada no nível 2. A estratégia de mitigação escolhida por G2 foi o branqueamento das batatas, com uma única justificativa baseada na sua viabilidade de operação, destacando que o procedimento é de fácil execução. Dessa forma, a UA foi classificada no nível 1.

A estratégia escolhida por G3 foi o branqueamento combinado com a utilização de batatas com baixo teor de asparagina. A justificativa apresentada integra duas dimensões: eficácia técnica, pois o branqueamento reduz os açúcares redutores e limita a reação de Maillard, resultando em menor formação de acrilamida, e

viabilidade operacional, razão pela qual essa UA foi classificada como nível 2. O G4 adotou como estratégia o branqueamento das batatas, utilizando água a 50 °C por 80 min, seguido de resfriamento rápido. A justificativa considera duas dimensões: a eficácia técnica, pois o método pode reduzir em cerca de 75% a formação de acrilamida, garantindo conformidade com os níveis recomendados pela União Europeia; e a viabilidade operacional, já que o procedimento pode ser implementado na rede de *fast-food* sem necessidade de equipamentos complexos ou grandes mudanças na rotina de produção. Dessa maneira, a esta UA foi atribuída a classificação de nível 2.

Logros, observação e avaliação

Logros, observação e avaliação são concernentes às sugestões de ações futuras, apresentadas pelos grupos, com potencial para aprimorar a estratégia escolhida para a mitigação da acrilamida (Quadro 1). O G1, com UA classificadas no nível 2, propôs a realização de palestras e oficinas educativas sobre a temática em escolas e instituições comunitárias, com adaptações ao perfil socioeconômico do público. Essa iniciativa visa não apenas informar sobre os riscos da acrilamida, mas também capacitar estudantes e famílias a adotar práticas alimentares mais seguras. Além disso, o grupo sugeriu a realização de análises comparativas do teor de acrilamida em diferentes alimentos do cotidiano brasileiro, como batatas fritas, pães e biscoitos, permitindo avaliar a eficácia de diferentes métodos de mitigação em contextos reais.

O G2, com UA classificada no nível 1, concentrou suas sugestões somente na dimensão tecnológica, propondo a combinação de diferentes métodos de mitigação, como branqueamento e uso de batatas com baixo teor de asparagina, além do estudo detalhado de fatores que influenciam a formação de acrilamida, incluindo tempo de cozimento e condições de armazenamento. O G3 sugeriu estudos que correlacionem níveis de acrilamida em alimentos processados, sugerindo a investigação do efeito da acrilamida em seres humanos. Além disso especulou sobre a viabilidade operacional e econômica das medidas propostas. Nessa perspectiva, a UA foi classificada no nível 2.

O G4, com UA classificada no nível 2, concentrou suas sugestões em estratégias experimentais, propondo testes comparativos de diferentes métodos de mitigação em larga escala, como branqueamento, fritura a baixa temperatura e uso de inibidores enzimáticos. Ao mesmo tempo, sugeriu disseminação de informações para pequenos produtores, promovendo capacitação sobre práticas seguras de preparo.

A Figura 2 ilustra os indicadores do Modelo IDEAL e os respectivos níveis de desempenho alcançados por G1 a G4 em cada um deles, na resolução da problemática da acrilamida em batatas.

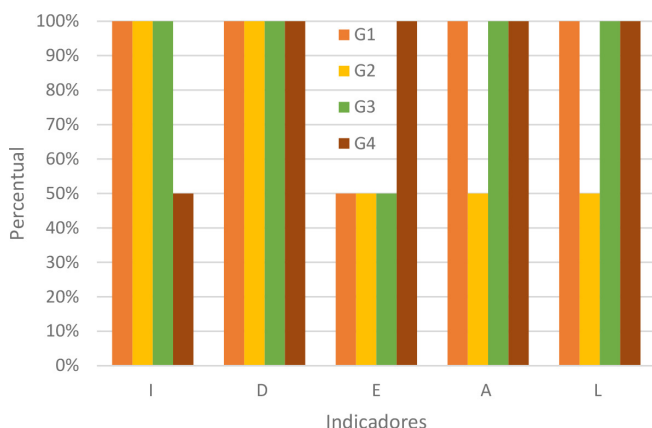


Figura 2. Indicadores da resolução da problemática relacionada à acrilamida em batatas por G1 a G4

A Figura 2 evidencia que G1 a G4 cumpriram todas as etapas previstas no Modelo IDEAL para RP, sendo observado nível de desempenho correspondente a 100% apenas para o indicador D, o que corrobora o entendimento pleno dos grupos quanto às causas do problema que tinham em mãos. Com relação ao indicador I, o G4 foi o único a não formular um questionamento diretamente relacionado ao problema que precisava ser atacado (“Como mitigar a acrilamida em batatas?”), enquanto o indicador E foi aquele com a menor quantidade de grupos alcançando o nível de desempenho correspondente a 100%, o que sugere que uma discussão abarcando várias estratégias para a mitigação da acrilamida foi levada a cabo apenas pelo G4, ficando os demais grupos restritos à discussão de uma única estratégia ou, no máximo, duas.

Os indicadores A e L foram contemplados da mesma forma por todos os grupos, com desempenho correspondente a menos de 100% apenas pelo G2. Nessa perspectiva, é possível afirmar que a maioria dos grupos apresentou justificativas embasadas em mais de uma dimensão para a adoção da estratégia de mitigação escolhida e também no que diz respeito a sugestões de ações futuras para o aprimoramento da referida estratégia. Os resultados permitem identificar a segunda etapa como a cumprida com maior desenvoltura pelos grupos e a terceira com menor desenvoltura.

Assim como observado para G1 a G4, Rokhim *et al.*,¹⁵ ao analisarem a habilidade de estudantes do ensino médio para resolução de problemas sobre ácido e base, constataram desempenho mais baixo no que tange ao indicador E, o que sugere quão desafiadora pode ser a etapa de identificação de estratégias para a solução do problema, dependendo da situação em estudo.

Problemática: acrilamida no café

A problemática da acrilamida no café foi exposta ao G5 a G8 no formato de estudo de caso interrompido, que narra a investigação conduzida por Flávio e André, pós-graduandos em química, acerca da presença desse composto em cafés da rede StarCoffees. Inicialmente, os estudantes recebem informações detalhadas da empresa sobre o processo de torra, incluindo parâmetros de temperatura e tempo e, a partir daí, analisam amostras de café, visando à mitigação do contaminante.

Identificação do problema

A identificação do problema está atrelada à elaboração, por parte dos grupos, de questões relacionadas à mitigação da acrilamida no café (Quadro 1). G5 a G7 formularam questões alinhadas com essa perspectiva, sendo as três respectivas UA classificadas no nível 2. O G5 fez o seguinte questionamento: “Como determinar as concentrações de acrilamida em cada tipo de torra, em cada espécie de café, além de propor um método para mitigar os níveis de acrilamida no café e lucrar com isso?”. O G6 formulou questões relacionadas à concentração de acrilamida em diferentes espécies de café submetidas a diferentes graus de torra: “Qual a concentração de acrilamida presente em cada espécie de café submetida a cada uma das torras? Como mitigar a formação desse contaminante de forma a obter um produto mais saudável?”.

O G7 direcionou seus esforços para encontrar o melhor caminho para quantificar e mitigar a acrilamida em dois tipos de café amplamente consumidos, arábica e robusta: “Pode-se quantificar a acrilamida presente nos cafés da StarCoffees a fim de buscar uma estratégia de mitigação eficiente?”. O G8 teve sua UA classificada no nível 1, uma vez que direcionou sua análise à redução do teor de acrilamida em cafés das variedades arábica e robusta, porém com ênfase na identificação do método analítico mais eficaz para esse propósito e não na investigação de estratégias específicas de

mitigação da acrilamida propriamente dita: “Qual o melhor método analítico para reduzir o teor do contaminante nos cafés do tipo arábica e robusta?”.

Definição e representação do problema

A definição e representação do problema estão vinculadas à apresentação, por parte dos grupos, de possíveis causas relacionadas ao problema (Quadro 1). O G5, com UA classificada no nível 2, destacou que a espécie de café, o grau de torra, a ocorrência da reação de Maillard e a presença de asparagina favorecem a formação do contaminante, enquanto valores de pH menos ácidos influenciam a extensão do processo. O G6, também com UA classificada no nível 2, indicou que altos teores de asparagina, pH inadequado, tempo e temperatura da torra, composição dos grãos (arábica e robusta) e uso de aditivos influenciam diretamente a formação do contaminante.

O G7 indicou somente duas causas principais, centradas nos aspectos químicos da reação de Maillard, com classificação da UA no nível 1: a alta concentração de asparagina nas torras e o aumento da reatividade do grupo amina em pH alcalino. O G8 identificou uma única causa da formação de acrilamida, também com classificação da UA no nível 1, destacando que o teor de asparagina nos grãos verdes é determinante para o surgimento do contaminante.

Exploração das possíveis estratégias de resolução

A exploração de possíveis estratégias de resolução diz respeito à apresentação, por parte dos grupos, do planejamento de mitigação para a formação de acrilamida no café (Quadro 1). O G5 estruturou um procedimento, abordando duas estratégias, que inclui, pré-tratamento térmico dos grãos (vaporização em autoclave), seguido de tratamento enzimático com asparaginase em diferentes cargas enzimáticas, com UA classificada no nível 1. O G6 explorou três estratégias, baseadas em condições distintas de torra: torra convencional à pressão atmosférica; torra convencional seguida de 10 min a vácuo; e torra exclusivamente a vácuo. Dessa forma, a UA foi classificada no nível 2.

O G7 propôs uma estratégia de mitigação utilizando uma sequência que envolve vaporização dos grãos (para abertura dos poros dos grãos de café), seguido de tratamento com enzima asparaginase, e por fim, secagem. De maneira similar, o G8 apresentou apenas uma estratégia principal – o descascamento dos grãos verdes antes da torra – como forma de reduzir os precursores da acrilamida. As UA de G7 e G8 foram, portanto, classificadas no nível 1.

Ação sobre as estratégias

A ação sobre as estratégias refere-se à apresentação, por parte dos grupos, da estratégia escolhida para mitigar a acrilamida, acompanhada de justificativas (Quadro 1). A estratégia escolhida por G5 foi a aplicação da enzima asparaginase nos grãos de café. A justificativa do grupo contempla três dimensões, com UA classificada no nível 2: a eficácia técnica, demonstrada pela significativa redução de acrilamida em ambas as espécies de café (arábica e robusta) sem comprometer as propriedades sensoriais do produto; a viabilidade operacional; e o custo, considerando que o processo não exige etapas adicionais complexas e permite o reaproveitamento da enzima.

O G6 escolheu a estratégia da torra a vácuo, com justificativas baseadas na sua viabilidade operacional para aplicação industrial e comercial, uma vez que permite reduzir a acrilamida sem comprometer o produto final e pode ser incorporado à linha de produção sem grandes adaptações, e no aspecto econômico, pois dispensa o uso da asparaginase, evitando custos adicionais com aquisição de enzimas. Dessa forma, a UA foi classificada no nível 2.

O G7 optou pela estratégia do emprego da enzima asparaginase, mesmo conhecendo as limitações relacionadas à viabilidade operacional e ao custo, uma vez que afirma que esta estratégia diminui

consideravelmente a quantidade de acrilamida nas amostras. Assim a UA foi classificada com nível 2. O G8 sugere como estratégia o uso da enzima asparaginase associada ao descascamento do grão durante a colheita, com justificativa baseada em uma única dimensão, a de viabilidade operacional, sendo a UA classificada no nível 1.

Logros, observação e avaliação

Logros, observação e avaliação são concernentes às sugestões de ações futuras, apresentadas pelos grupos, com potencial para aprimorar a estratégia escolhida para a mitigação da acrilamida (Quadro 1). O G5 a G8 apresentaram sugestões de ações futuras relacionadas a mais de uma dimensão, sendo as quatro respectivas UA classificadas no nível 2. O G5 sugeriu a aplicação da pectina 50% etilesterificada como alternativa de mitigação da acrilamida, com associação dessa técnica ao tratamento enzimático, com o objetivo de potencializar a redução do contaminante. Além disso, propôs iniciativas de conscientização voltadas a consumidores e profissionais da indústria alimentícia.

O G6 enfatizou a carência de dados nacionais sobre a exposição da população brasileira à acrilamida, propondo estudos que relacionem alimentos, grupos sociais e faixas etárias mais expostas. Também sugeriu a avaliação de diferentes estratégias industriais de mitigação, com atenção à preservação das características sensoriais dos produtos. O G7 reforçou a necessidade de investigar a acrilamida em diferentes espécies e torras de café, comparando métodos de análise e estabelecimentos de distintos portes, de modo a identificar padrões de contaminação associados à produção e ao consumo. O grupo também sugeriu que os resultados fossem divulgados para produtores e consumidores, permitindo decisões mais seguras e informadas.

O G8 propôs a realização de pesquisas envolvendo a aplicação da enzima asparaginase, sugerindo a possibilidade de determinar a concentração ótima necessária para alcançar a maior redução possível do contaminante, sem comprometer as propriedades organolépticas do café. Além disso, sugeriu a criação de uma base de dados ampla sobre a acrilamida em diferentes grãos e torras, acompanhada de campanhas de conscientização e recomendações sobre grãos e torras mais seguras.

A Figura 3 ilustra os indicadores do Modelo IDEAL e os respectivos níveis de desempenho alcançados por G5 a G8 em cada um deles, na resolução da problemática da acrilamida no café.

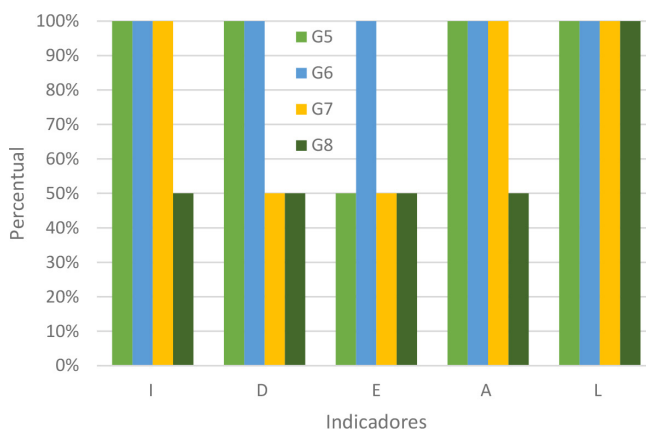


Figura 3. Indicadores da resolução da problemática relacionada à acrilamida no café por G5 a G8

A Figura 3 mostra que G5 a G8, assim como G1 a G4, cumpriram todas as etapas previstas no Modelo IDEAL para RP, sendo observado nível de desempenho correspondente a 100% apenas para o indicador L, o que sugere o engajamento de G5 a G8 na proposição de ações futuras complementares para o aprimoramento da estratégia

de mitigação que selecionaram. Com relação ao indicador I, o G7 foi o único a não formular um questionamento diretamente relacionado ao problema em foco (“Como mitigar a acrilamida no café?”), enquanto para o indicador D somente metade dos grupos (G5 e G6) alcançou o nível de desempenho correspondente a 100%.

O indicador E foi, assim como observado para o G1 a G4, aquele com a menor quantidade de grupos alcançando o nível de desempenho correspondente a 100%, com uma discussão levando em conta várias estratégias para a mitigação da acrilamida realizada apenas pelo G6, com os demais grupos restritos à discussão de uma ou duas estratégias. O indicador A foi contemplado de forma distinta por G8, com desempenho correspondente a 50%, enquanto os demais grupos alcançaram desempenho de 100%. Nessa perspectiva, justificativas embasadas em mais de uma dimensão para a adoção da estratégia de mitigação escolhida só não foram apresentadas por G8. Os resultados permitem identificar a última etapa como a cumprida com maior desenvoltura pelos grupos e a terceira com menor desenvoltura.

O desempenho correspondente a 100% no indicador L obtido por G5 a G8 é notável, tendo em vista que este está relacionado à última etapa do processo de RP, a qual envolve a prática da avaliação que, segundo Frank,¹⁸ muitas vezes não é realizada a contento pelos estudantes simplesmente porque não estão familiarizados com ela no contexto educacional.

Problemática: acrilamida em pães torrados

A problemática da acrilamida em pães torrados foi exposta ao G9 a G12 no formato de estudo de caso interrompido, cuja narrativa apresenta Laize, estagiária de uma empresa de alimentos, responsável por investigação voltada à redução da acrilamida em torradas produzidas pela empresa BreadFit, destacando a complexidade de conciliar a diminuição do composto com a manutenção das suas características sensoriais.

Identificação do problema

A identificação do problema está atrelada à elaboração, por parte dos grupos, de questões relacionadas à mitigação da acrilamida em torradas (Quadro 1). Os questionamentos de G9 a G12 abarcam este aspecto, sendo as quatro respectivas UA classificadas no nível 2. O G9 formulou o seguinte questionamento: “É necessário identificar se há a presença de acrilamida nos alimentos para então começar a pensar na situação problema. Uma vez identificados os níveis de acrilamida e visando o efeito desejado por Laize, no contexto da empresa, qual(s) seria(m) a(s) estratégia(s) de mitigação da formação de acrilamida?”. O G10, levantou os questionamentos: “Qual a concentração de acrilamida em cada torrada? Quais mecanismos de formação e de mitigação da acrilamida?”.

O G11, assim como o G9, apresentou como problema principal a produção de torradas com menos acrilamida: “Laize supõe como problemática do estudo de caso a mitigação do teor de acrilamida dos produtos de panificação saudáveis. Qual a melhor maneira de se mitigar o teor de acrilamida?”. O G12 formulou questionamento diretamente relacionado à mitigação da acrilamida: “Quais as concentrações de acrilamida presentes nos produtos fabricados pela fábrica? Quais estratégias de mitigação podem ser utilizadas? Existe alguma substância que possa ser adicionada durante a preparação das torradas que reduza a concentração de acrilamida? Quais as novas concentrações de acrilamida nos produtos que passaram pelo processo de mitigação?”.

Definição e representação do problema

A definição e representação do problema estão vinculadas à apresentação, por parte dos grupos, de possíveis causas relacionadas ao problema (Quadro 1). O G9 a G12 apresentaram mais de duas

possíveis causas para a formação da acrilamida em torradas, sendo as quatro respectivas UA classificadas no nível 2. O G9 apontou que o contaminante se forma em meio ligeiramente alcalino, que tempos e temperaturas de assamento elevados intensificam a reação, e que a presença de asparagina é determinante para a reação de Maillard. O G10 destacou que o pH, o tempo e a temperatura de torra, o tipo de aminoácido reagente (glicina em substituição à asparagina), a presença de açúcares redutores e a aplicação da enzima asparaginase influenciam diretamente a formação do contaminante.

O G11 identificou causas da formação de acrilamida, enfatizando que o pH, a presença de asparagina e o tipo de aminoácido reagente influenciam o surgimento do contaminante. O G12 identificou possíveis causas da formação de acrilamida, sublinhando que o tipo e o tempo de fermentação, o tempo e a temperatura de assamento, o uso da enzima asparaginase, os tipos de farinha, o conteúdo de açúcares redutores e a influência de diferentes fermentos afetam diretamente a formação do contaminante.

Exploração das possíveis estratégias de resolução

A exploração de possíveis estratégias de resolução diz respeito à apresentação, por parte dos grupos, do planejamento de mitigação para a formação de acrilamida em torradas (Quadro 1). O G9 apresentou planejamento amplo e articulado, apontando quatro estratégias de mitigação, com classificação da UA no nível 2: variação do tempo de assamento das torradas; ajuste do pH com extratos naturais; adição da enzima asparaginase; e substituição parcial de farinhas.

G10 a G12 apresentaram planejamentos mais restritos, propondo até duas estratégias de mitigação, com classificação das UA no nível 1. O G10 combinou a substituição parcial da farinha com a adição de asparaginase. O G11 apresentou apenas uma estratégia, centrada na utilização do ácido sórbico microencapsulado como intervenção para reduzir a formação de acrilamida. O G12 considerou duas estratégias de mitigação: a aplicação da enzima asparaginase e a variação do tipo de fermento.

Ação sobre as estratégias

A ação sobre as estratégias refere-se à apresentação, por parte dos grupos, da estratégia escolhida para mitigar a acrilamida, acompanhada de justificativas (Quadro 1). O G9 a G12 justificaram a escolha da estratégia para a mitigação da acrilamida articulando mais de uma dimensão relacionada ao problema, sendo as quatro respectivas UA classificadas no nível 2. A estratégia escolhida por G9 baseou-se na redução do pH do meio utilizando extrato de café e ácido tartárico, sendo justificada principalmente pela viabilidade econômica, uma vez que os extratos naturais apresentam baixo custo em comparação com alternativas como a asparaginase. Além disso, a abordagem é operacionalmente simples, podendo ser aplicada de maneira prática na produção.

O G10 optou por combinar duas estratégias para mitigar a acrilamida: a substituição parcial da farinha tradicional por farinhas alternativas (como cevada, casca de banana e trigo integral) e o uso da enzima asparaginase. Tal escolha é justificada uma vez que permite reduzir os teores de acrilamida, aumentar o valor nutricional do produto e ainda manter ou melhorar suas características sensoriais. Além disso, a aplicação dessas estratégias é operacionalmente prática, podendo ser implementada na linha de produção sem necessidade de alterações complexas, o que facilita sua adoção industrial.

O G11 analisou diferentes estratégias de mitigação da acrilamida, incluindo o uso de asparaginase, glicina e ácido sórbico. A análise considerou fortemente a viabilidade econômica e operacional de cada método: a asparaginase, embora eficaz, apresenta elevado custo, o que limita sua adoção industrial em larga escala; a glicina, além de menos eficaz, interfere nas propriedades sensoriais, dificultando a

comercialização; já o ácido sórbico combina baixo custo de produção, manutenção das propriedades organolépticas e facilidade operacional, permitindo sua aplicação sem prejudicar o processo de fermentação ou o volume dos produtos. Portanto, a escolha do ácido sórbico foi justificada considerando dimensões econômicas e operacionais.

O G12 selecionou a alteração do tipo de fermento, considerando a viabilidade operacional e o custo: o fermento já é um ingrediente usual na produção, não altera as propriedades sensoriais dos produtos e permite maior rendimento industrial devido ao menor tempo de fermentação.

Logros, observação e avaliação

Logros, observação e avaliação são concernentes às sugestões de ações futuras, apresentadas pelos grupos, com potencial para aprimorar a estratégia escolhida para a mitigação da acrilamida (Quadro 1). O G9, com UA classificadas no nível 2, sugeriu que grandes empresas invistam em alternativas tecnológicas de maior custo, como o uso de aminoácidos (asparagina, glicina e outros, ainda não estudados), enquanto as pequenas adotem soluções baseadas em extratos naturais, mais acessíveis, embora menos eficientes. No âmbito social, G9 ressaltou a importância de campanhas de conscientização sobre os riscos da acrilamida e seus efeitos na qualidade sensorial dos alimentos, a fim de promover hábitos alimentares mais seguros.

O G10, também com UA classificadas no nível 2, evidenciou o potencial das farinhas alternativas, ainda em estágio inicial de estudo, para reduzir a acrilamida e atender a demandas globais relacionadas à economia e à saúde, como a questão do glúten. Além disso, sugeriu a investigação de aminoácidos que possam substituir a asparagina, preservando as características sensoriais dos alimentos, e ressaltou a necessidade de sondar a percepção social sobre os riscos da acrilamida. O G11 apresentou sugestões de trabalhos futuros ancoradas somente na dimensão tecnológica, propondo a investigação de métodos biotecnológicos para produção de L-asparaginase a partir de fungos, visando identificar alternativas mais acessíveis e eficientes, razão pela qual sua UA foi classificada com nível 1.

O G12 propôs abordagens experimentais diversificadas, incluindo a variação de temperatura e tempo de assamento, análise da influência da fermentação, comparação entre aditivos e métodos de preparo, bem como estudos populacionais voltados ao consumo de acrilamida por faixa etária. O grupo também enfatizou a relevância de investigar metodologias mais precisas para a determinação da substância, ampliando a confiabilidade das pesquisas.

A Figura 4 ilustra os indicadores do Modelo IDEAL e os respectivos níveis de desempenho alcançados por G9 a G12 em cada um deles, na resolução da problemática da acrilamida em pães torrados.

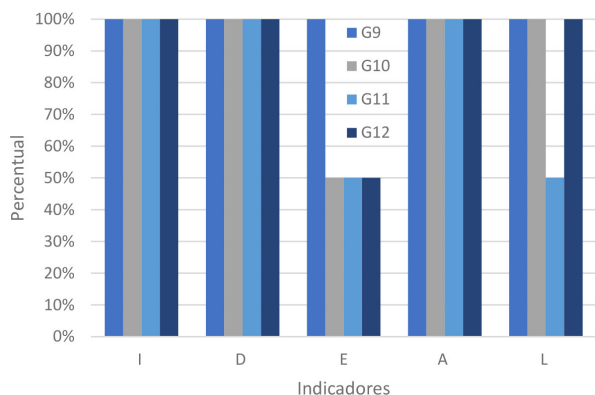


Figura 4. Indicadores da resolução da problemática relacionada à acrilamida em pães torrados por G9 a G12

A Figura 4 mostra que G9 a G12, assim como os demais grupos investigados, cumpriram todas as etapas previstas no Modelo IDEAL para RP, sendo observado nível de desempenho correspondente a 100% para os indicadores I, D e A, o que sugere a clareza de G9 a G12 na formulação da questão problema e o conhecimento vasto sobre as suas causas, assim como a capacidade de apresentação de justificativas embasadas em mais de uma dimensão para a adoção da estratégia de mitigação escolhida. Novamente, o indicador E foi, assim como observado para os demais grupos, aquele com a menor quantidade de grupos alcançando o nível de desempenho correspondente a 100%, com uma discussão levando em conta várias estratégias para a mitigação da acrilamida realizada apenas pelo G9, com os demais grupos restritos à discussão de uma ou duas estratégias. O indicador L foi contemplado de forma distinta por G11, com desempenho correspondente a 50%, enquanto os demais grupos alcançaram desempenho de 100%. Nessa perspectiva, justificativas embasadas em mais de uma dimensão para a adoção de ações capazes de aprimorar a estratégia de mitigação escolhida só não foram apresentadas por G11. Os resultados permitem identificar três etapas como as cumpridas com maior desenvoltura pelos grupos (referentes aos indicadores I, D, A) e a terceira com menor desenvoltura.

Resultados muito satisfatórios, como os obtidos para G9 a G12, que tiveram desempenho de 100% em três dos cinco indicadores, foram também reportados por Susanti *et al.*,¹⁹ em investigação conduzida junto a estudantes do ensino médio, no qual o Modelo IDEAL subsidiou as ações didáticas para abordagem da elasticidade, na perspectiva da física. Segundo os autores, os resultados levam a crer que a adoção de atividades centradas nos estudantes, tendo o referido Modelo como norteador do processo de ensino e aprendizagem, pode melhorar a capacidade de resolução de problemas dos mesmos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho descreveu a aplicação de uma atividade didática tendo em vista o fomento da habilidade de RP no ensino superior de química. A abordagem adotada buscou privilegiar não apenas a aquisição de conceitos fundamentais concernentes à temática da acrilamida em alimentos, como também estimular o engajamento dos estudantes na construção de conhecimentos científicos de forma contextualizada, a partir da sua imersão em problema socialmente relevante.

No que se refere à habilidade de RP dos estudantes, investigada com base no Modelo IDEAL, todos os grupos aos quais eles pertenciam cumpriram as cinco etapas previstas no referido Modelo de forma integral, mostrando o potencial da aplicação de problemas no formato de estudos de caso interrompidos para o alcance de tal propósito. O estabelecimento de relação entre a aplicação de estudos de caso interrompidos e o fomento à habilidade de RP é inédito na literatura, até onde vai o nosso conhecimento. Com efeito, são reportadas de forma mais recorrente investigações sobre o seu potencial no desenvolvimento da argumentação,²⁰ do pensamento crítico²¹ e da aquisição de conhecimentos científicos.²²

Neste estudo foi possível também constatar a desenvoltura dos grupos frente a cada uma das etapas previstas no Modelo IDEAL, sendo notável, para o indicador D, o desempenho de 100% por parte de todos os grupos que lidaram com a problemática da acrilamida em batatas e nos pães torrados. Em contraponto, o indicador E foi caracterizado como aquele com a menor quantidade de grupos alcançando o nível de desempenho correspondente a 100%. Assim, o procedimento de análise adotado permite a tessitura de considerações sobre condutas a implementar durante a aplicação da atividade didática, almejando o seu aprimoramento. De forma mais ampla, o trabalho fornece, portanto, subsídios para o delineamento de ações

promissoras por parte de educadores químicos que buscam promover a habilidade de RP em ambientes de ensino.

Por fim, cabe ainda destacar que a atividade didática, levada a cabo em ambiente virtual no período pandêmico, pode ser adaptada para aplicação em salas de aula presenciais, assim como direcionada para o estudo de outras temáticas.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Todos os dados foram disponibilizados no texto e todos os estudos de caso interrompidos estão disponíveis, na íntegra, em <https://gpeqsc.iqsc.usp.br/estudos-de-caso-interrompidos/>.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (processo 300448/2025-2) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Fernandes, L. S.; Campos, A. F.; *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **2017**, *16*, 458. [Link] acessado em dezembro 2025
2. Conselho Nacional de Educação (CNE); Parecer CNE/CES 1.303, de 6 de novembro de 2001, *Dispõe sobre Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química*; Diário Oficial da União (DOU), Brasília, seção 1, de 07/12/2001, p. 25. [Link] acessado em dezembro 2025
3. Mori, L.; da Cunha, M. B.; *Quim. Nova Esc.* **2020**, *42*, 176. [Crossref]
4. Govindaraju, I.; Sana, M.; Chakraborty, I.; Rahman, M. H.; Biswas, R.; Mazumder, N.; *Foods* **2024**, *13*, 556. [Crossref]
5. International Agency for Research on Cancer (IARC); *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, vol. 60; IARC: Lyon, 1994. [Link] acessado em dezembro 2025
6. Pandiselvam, R.; Süfer, Ö.; Özasan, Z. T.; Gowda, N. N.; Pulivarthi, M. K.; Charles, A. P. R.; Ramesh, B.; Ramniwas, S.; Rustagi, S.; Jafari, Z.; Jeevarathinam, G.; *Food Front.* **2024**, *5*, 1063. [Crossref]
7. Batuwita, B. K. H. H.; Jayasinghe, J. M. J. K.; Marapana, R. A. U. J.; Jayasinghe, C. V. L.; Jinadasa, B. K. K.; *Food Bioprocess Technol.* **2025**, *18*, 2101. [Crossref]
8. Şen, D.; Gökmen, V.; *ACS Food Sci. Technol.* **2023**, *3*, 1606. [Crossref]
9. da Cunha, P. L. R.; Almondes, R. R. S.; Queiroz, S. L.; *Quim. Nova* **2025**, *48*, e-20250204. [Crossref]
10. Bransford, J. D.; Stein, B. S.; *The IDEAL Problem Solver*, 2nd ed.; Freeman: New York, 1984.
11. Sanabria, M. L. B.; Pulido, L. H. O.; *Int. J. Psychol. Res.* **2009**, *2*, 67. [Crossref]
12. Sá, L. P.; *Estudo de Casos na Promoção da Argumentação sobre Questões Sócio-Científicas no Ensino Superior de Química*; Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, 2010. [Link] acessado em dezembro 2025
13. Azizah, U.; Nasrudin, H.; *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* **2022**, *8*, 1462. [Link] acessado em dezembro 2025
14. Yuriev, E.; Naidu, S.; Schembri, L. S.; Short, J. L.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2017**, *18*, 486. [Crossref]
15. Rokhim, D. A.; Atikah, A.; Vitarisma, I. Y.; Rahayu, S.; Muntholib, M.; *Orbital: Electron. J. Chem.* **2023**, *14*, 276. [Crossref]
16. Seródio, A. P. F. A.; *Acrilamida em Bolachas: Ocorrência, Análise e Estratégias de Mitigação*; Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2015. [Link] acessado em dezembro 2025
17. de Jesus, S. P. A.; *Estratégias de Redução e Mitigação da Acrilamida em Produtos de Panificação*; Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2016. [Link] acessado em dezembro 2025
18. Frank, D. V.; *Implementing Instruction to Improve the Problem Solving Abilities of General Chemistry Students*; Tese de Doutorado, Universidade Purdue, Indiana, EUA, 1985. [Link] acessado em dezembro 2025
19. Susanti, E.; Lutfiani, S.; Maulidah, R.; *Jurnal Eksakta Pendidikan* **2024**, *8*, 115. [Crossref]
20. de Lima, M. S.; Queiroz, S. L.; *J. Chem. Educ.* **2024**, *101*, 467. [Crossref]
21. White, T. K.; Whitaker, P.; Gonya, T.; Hein, R.; Kroening, D.; Lee, K.; Lee, L.; Lukowiak, A.; Hayes, E.; *J. Microbiol. Biol. Educ.* **2009**, *10*, 25. [Crossref]
22. Matos, R.; de Lima, M. S.; da Silva, G. B.; Queiroz, S. L.; *J. Chem. Educ.* **2024**, *101*, 1361. [Crossref]