

VISUALIZAÇÃO ASSISTIDA POR NOTEBOOKLM NA CONSTRUÇÃO DE MATERIAIS DIDÁTICOS PARA O ENSINO INTERDISCIPLINAR DE CONSERVAÇÃO DA ESPÉCIE QUÍMICA E DIFUSÃO DE MASSA

C. N. Silva Junior¹, A. P. de O. Schmitz ¹, A. Zuber ¹

¹*Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão, Francisco Beltrão, Brasil (caliston@utfpr.edu.br)*

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a análise técnico-pedagógica de materiais visuais produzidos com apoio do NotebookLM para o ensino interdisciplinar da difusão de massa em Engenharia Química. A proposta articula Termodinâmica I, Fenômenos de Transporte e Reatores Químicos por meio da equação da conservação da espécie química, com foco na mediação docente e na validação crítica de recursos gerados por IA.

Palavras-chave: Ensino de Engenharia Química; Difusão de massa; NotebookLM; Visualização científica; Conservação da espécie química.

INTRODUÇÃO

A formação em Engenharia Química exige que o estudante compreenda fenômenos que ocorrem em escalas microscópicas e que são descritos, em geral, por equações diferenciais, balanços de conservação e relações termodinâmicas. Entre esses fenômenos, a difusão de massa ocupa papel de destaque, pois está presente em operações de separação, secagem, absorção, extração, catálise heterogênea, reações gás-líquido, sistemas porosos e reatores químicos (Bird et al., 2002; Cussler, 2009).

Apesar de sua relevância, a difusão é frequentemente percebida como um conteúdo abstrato. A dificuldade não se limita ao uso de equações matemáticas, mas envolve a construção de uma imagem física do fenômeno. É necessário compreender que a matéria se desloca em resposta a uma força motriz, que o fluxo está associado a gradientes, que o acúmulo depende da redistribuição espacial de concentração, que as condições de contorno representam interações físicas nas fronteiras e que a presença de reação química modifica o balanço local da espécie (Cussler, 2009; Fogler, 2016).

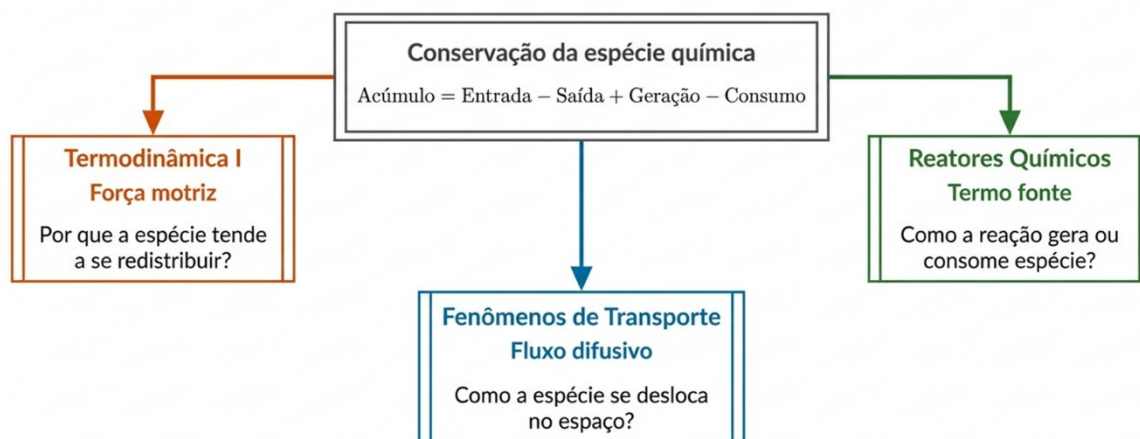
Essa complexidade torna a difusão um tema naturalmente interdisciplinar. Em Termodinâmica, a discussão da força motriz está relacionada ao afastamento do equilíbrio e à tendência de redistribuição de uma espécie no sistema. Em Fenômenos de Transporte, essa tendência é

formalizada por leis constitutivas, como a Lei de Fick, e por equações de conservação. Em Cinética e Reatores Químicos, a difusão passa a interagir com termos de geração ou consumo, sendo essencial para a compreensão de reações homogêneas, heterogêneas, catalíticas e de sistemas com limitação difusional (Fogler, 2016).

A proposta deste trabalho parte da equação de conservação da espécie química como eixo integrador entre essas três disciplinas. A Figura 1 apresenta a lógica conceitual adotada, relacionando a força motriz termodinâmica, o fluxo difusivo e o termo fonte associado à reação química.

A aprendizagem de conteúdos abstratos pode ser favorecida quando o estudante dispõe de representações visuais coerentes com a explicação verbal e matemática. A teoria da aprendizagem multimídia destaca que a combinação entre palavras e imagens pode contribuir para a compreensão de conteúdos complexos, desde que as representações sejam organizadas de forma clara e alinhada aos objetivos de aprendizagem (Mayer, 2009). A teoria da carga cognitiva reforça a importância de reduzir esforços cognitivos desnecessários durante a aprendizagem (Sweller, 1988). No contexto da formação docente, a noção de conhecimento pedagógico do conteúdo ressalta que ensinar um conceito técnico envolve transformá-lo em formas didaticamente compreensíveis, sem perda de rigor científico (Shulman, 1986).

Conservação da espécie química: eixo integrador da Engenharia Química



Da força motriz ao termo fonte: uma leitura interdisciplinar da difusão de massa.

© NotebookLM

Figura 1. Representação interdisciplinar da equação de conservação da espécie química como eixo integrador entre Termodinâmica I, Fenômenos de Transporte e Reatores Químicos.

Nesse contexto, ferramentas de inteligência artificial generativa podem atuar como recursos auxiliares para a organização de materiais didáticos, desde que submetidas à curadoria e validação docente. O NotebookLM foi utilizado neste trabalho como ferramenta de apoio à construção de materiais visuais para o ensino de difusão de massa. A ferramenta foi empregada para reorganizar conteúdos, propor estruturas visuais, sintetizar relações conceituais e auxiliar na geração de infográficos. Entretanto, os materiais produzidos não foram tratados como produto autônomo da inteligência artificial. Todo o conteúdo foi submetido à curadoria e validação conceitual pelos docentes ao longo do curso, de modo que a IA atuou como meio de mediação visual, e não como fonte final de conhecimento (Google, 2026).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de desenvolvimento e análise técnico-pedagógica de materiais visuais produzidos com apoio do NotebookLM para o ensino interdisciplinar da difusão de massa em Engenharia Química, articulando Fenômenos de Transporte, Reatores Químicos e Termodinâmica I.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A equação de conservação da espécie química pode ser compreendida como um eixo multidisciplinar dentro do ensino da Engenharia Química. Em sua formulação geral, ela expressa o balanço entre acúmulo, transporte e geração ou consumo de uma espécie em um volume de controle. Essa estrutura permite conectar diferentes disciplinas essenciais do curso: a Termodinâmica fornece a interpretação da força motriz e do equilíbrio; os Fenômenos de Transporte descrevem os fluxos associados aos gradientes; e os Reatores Químicos introduzem os termos de reação que alteram localmente a quantidade de matéria.

Do ponto de vista termodinâmico, a difusão está associada à tendência de redistribuição de uma espécie quando o sistema se encontra fora do equilíbrio. Em uma abordagem introdutória, essa tendência pode ser representada por diferenças de concentração. Em uma abordagem termodinâmica mais generalista, a força motriz está relacionada a diferenças de potencial químico, atividade ou fugacidade, especialmente em sistemas não ideais (Prausnitz et al., 1999; Smith et al., 2018). Para fins didáticos, a Figura 2 apresenta a força motriz da difusão como uma transição entre uma condição não uniforme e uma condição mais próxima do equilíbrio.



Figura 2. Representação visual da força motriz termodinâmica da difusão de massa, destacando a tendência de redistribuição da espécie química em direção a uma condição mais próxima do equilíbrio.

Em Fenômenos de Transporte, essa tendência de redistribuição é descrita por fluxos. A Lei de Fick permite relacionar o fluxo difusivo ao gradiente de concentração, tornando explícita a conexão entre a inclinação do perfil de concentração e a direção do transporte (Bird et al., 2002; Cussler, 2009; Cremasco, 2015). A visualização desse conceito é especialmente importante porque auxilia na interpretação física da derivada primeira da concentração em relação à posição. A Figura 3 apresenta a relação entre gradiente, fluxo e regimes de difusão, incluindo os casos estacionário, pseudo-estacionário e transiente.

De forma complementar, a célula de Arnold constitui um exemplo didático importante para discutir difusão em gás estagnado. Nesse sistema, uma espécie líquida A evapora e difunde através de uma fase gasosa contendo B estagnado. Quando o nível líquido é mantido constante, o sistema pode ser tratado como estacionário. Quando o nível líquido diminui lentamente com o tempo, o problema passa a ser pseudo-estacionário: o perfil de concentração no gás é tratado como aproximadamente estacionário a cada instante, mas a distância de difusão varia com o recuo da interface.

Finalmente, em Cinética e Reatores Químicos, a equação de conservação da espécie incorpora explicitamente a geração ou o consumo por reação. Assim, o transporte de massa deixa de ser analisado isoladamente e passa a ser acoplado ao termo fonte.

Essa interação é fundamental em reações homogêneas, reações heterogêneas, sistemas catalíticos e processos nos quais a taxa global pode ser influenciada por limitações relacionadas à difusão mássica (Levenspiel, 1999; Fogler, 2016). A Figura 4 sintetiza essa relação entre transporte, reação e conservação da espécie.

Em todos esses casos, o desafio didático é transformar a linguagem matemática em imagem física. A título de exemplo: a primeira derivada da concentração está associada à inclinação do perfil e ao fluxo difusivo e a segunda derivada representa a curvatura e a tendência de redistribuição local, a condição de contorno expressa o que acontece fisicamente nas fronteiras e o termo fonte indica geração ou consumo. Desta maneira, a proposta deste trabalho parte da premissa de que materiais visuais, quando tecnicamente revisados, podem favorecer essa tradução das situações acima exemplificadas, facilitando a visualização do aluno no caminho de entender as relações entre matemática e fenômeno físico.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho caracteriza-se como uma proposta de desenvolvimento de Produto educacional com análise técnico-pedagógica reflexiva. A abordagem aproxima-se de estudos de desenvolvimento e design educacional, nos quais o foco está na concepção, organização, análise e aperfeiçoamento de artefatos educacionais, materiais didáticos ou estratégias

instrucionais (Richey e Klein, 2007; Peffers et al., 2007).

Este estudo não envolveu coleta de dados com estudantes, aplicação de questionários, avaliação de desempenho discente, entrevistas, relatos individuais, imagens, falas, respostas ou qualquer informação pessoal de participantes externos. O objeto de análise foi exclusivamente o conjunto de materiais didáticos

visuais produzidos com apoio do NotebookLM, sua revisão pelos docentes autores e a percepção do professor na evolução do aprendizado da turma. Assim, a proposta não apresenta inferências sobre aprendizagem discente, mas uma análise técnico-pedagógica docente do Produto educacional desenvolvido, bem como a percepção docente na evolução discente no entendimento do fenômeno físico e sua correlação matemática adequada.

Fenômenos de Transporte: Visualização da Difusão de Massa

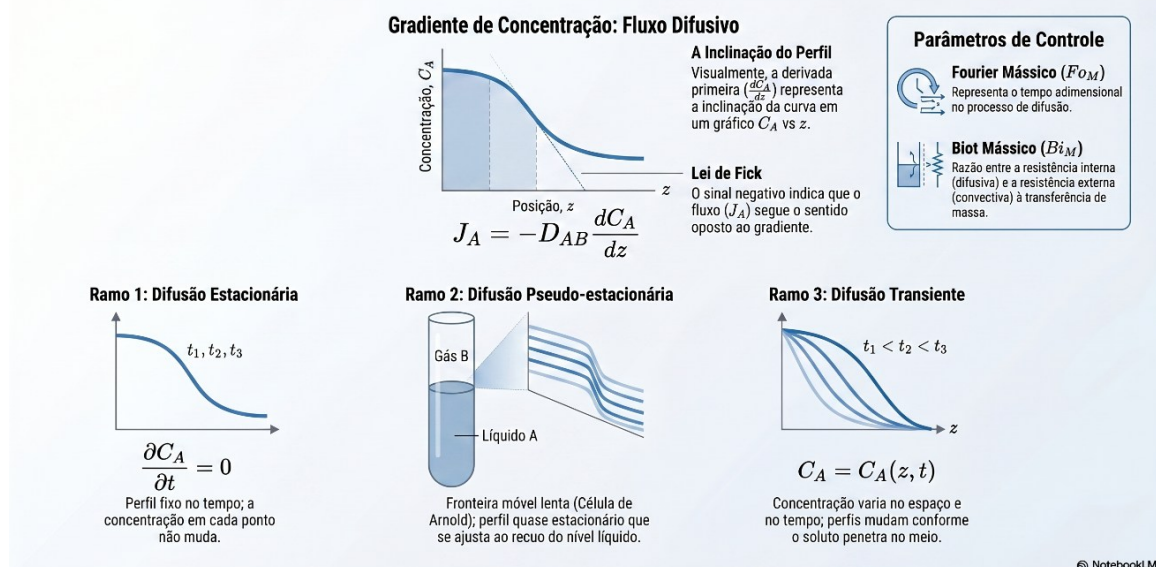
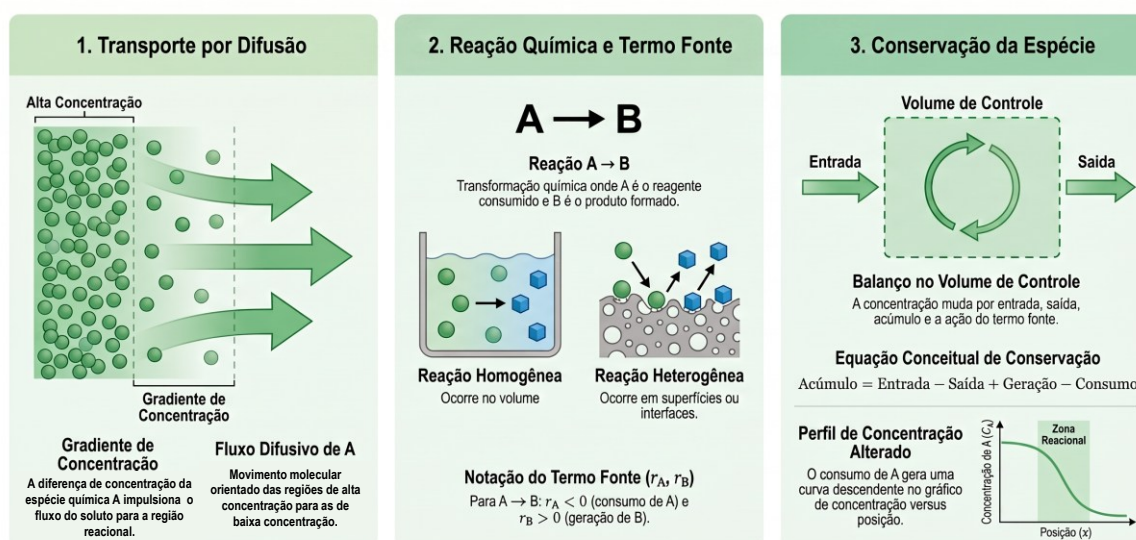


Figura 3. Representação visual da difusão de massa em Fenômenos de Transporte, relacionando gradiente de concentração, fluxo difusivo, Lei de Fick e regimes estacionário, pseudo-estacionário e transiente.

Reatores Químicos: Acoplamento entre Difusão de Massa e Reação Química



Reatores Químicos: explicam como a reação modifica o balanço local da espécie.

Figura 4. Representação visual do acoplamento reação-difusão em Reatores Químicos, destacando o termo fonte como elemento de geração ou consumo na equação de conservação da espécie

A metodologia foi estruturada em cinco etapas: curadoria conceitual, geração assistida por IA, validação interdisciplinar, organização da sequência didática e análise reflexiva docente.

Curadoria conceitual e geração assistida por IA

Na etapa de curadoria conceitual, os autores selecionaram conteúdos estruturantes das disciplinas de Termodinâmica I, Fenômenos de Transporte e Reatores Químicos. Foram priorizados conceitos que apresentam elevada carga abstrata e que exigem interpretação microscópica: força motriz, gradiente de concentração, Lei de Fick, equação de conservação da espécie química, acúmulo, fluxo difusivo, reação homogênea, reação heterogênea, condições de contorno, célula de Arnold, difusão pseudo-estacionária, difusão transiente, número de Biot mássico, número de Fourier mássico e difusão bidimensional.

Na etapa de geração assistida por NotebookLM, a ferramenta foi utilizada para auxiliar na reorganização dos conteúdos em linguagem visual. Foram inseridas fontes e materiais selecionados pelos docentes, incluindo notas de aula, roteiros didáticos, livros-texto e materiais de apoio. Os comandos foram elaborados pelos autores com o objetivo de transformar conceitos matemáticos em representações gráficas, mapas de decisão, analogias visuais e infográficos.

O uso desta ferramenta foi conduzido de forma controlada, sistematizada e sequencial. O NotebookLM atuou como apoio à organização visual, à mercê do conhecimento docente e das fontes escolhidas, com foco na síntese de conteúdos didáticos, no mesmo sentido em que os docentes permaneceram responsáveis pela seleção das fontes, pela formulação dos comandos, pela validação das representações e pela versão final dos materiais. A Tabela 1 apresenta a rastreabilidade do uso da ferramenta no processo de elaboração.

Validação interdisciplinar e sequência didática

Na etapa de validação conceitual interdisciplinar, cada material foi revisado pelos docentes a partir de sua área de atuação. Na perspectiva de Termodinâmica I, foram analisadas as representações de força motriz, equilíbrio, potencial químico e tendência de redistribuição da matéria. Na perspectiva de Fenômenos de Transporte, foram avaliadas as representações de gradiente, fluxo, difusividade, regime estacionário, regime pseudo-estacionário, regime transiente e geometria do problema. Na perspectiva de Reatores Químicos, foram analisadas as representações do termo fonte, da reação homogênea, da reação heterogênea e da interação entre difusão e reação.

Tabela 1. Rastreabilidade do uso do NotebookLM na produção dos materiais visuais.

Etapa do processo	Papel do NotebookLM	Papel dos docentes
Organização conceitual	Auxiliou na síntese de conteúdos extensos e na proposição de estruturas visuais.	Selecionar os conceitos, definiram o escopo e delimitaram os objetivos didáticos.
Geração de propostas visuais	Sugeriu formatos de infográficos, mapas conceituais e esquemas explicativos.	Revisaram a coerência das representações e selecionaram as versões mais adequadas.
Síntese textual	Auxiliou na formulação de textos curtos para caixas explicativas e legendas.	Ajustar linguagem, notação, rigor técnico e adequação ao nível das disciplinas.
Integração interdisciplinar	Apoiou a organização de relações entre força motriz, fluxo e termo fonte.	Validar as conexões entre Termodinâmica, Fenômenos de Transporte e Reatores Químicos.

Após a validação, os materiais foram organizados em seis módulos: força motriz e redistribuição da matéria; equação de conservação da espécie química; difusão sem reação em regime estacionário; regime pseudo-estacionário e fronteira móvel; difusão transiente e números adimensionais; e difusão bidimensional,

condições de contorno e acoplamento com reação. Essa sequência foi organizada como proposta de uso docente futuro.

Para sistematizar a análise dos materiais, foi elaborada uma matriz de validação técnico-pedagógica, apresentada na Tabela 2. Essa matriz foi utilizada

como instrumento de reflexão docente sobre a qualidade dos materiais produzidos, considerando não apenas a correção científica, mas também sua função

didática, sua clareza visual e seu potencial de integração entre disciplinas.

Tabela 2. Matriz de validação técnico-pedagógica dos materiais visuais.

Critério de validação	Pergunta orientadora	Finalidade na análise docente
Correção conceitual	O material representa corretamente o fenômeno físico-químico abordado?	Evitar erros de notação, hipóteses inadequadas ou interpretações equivocadas dos conceitos.
Clareza visual	A figura ajuda a visualizar algo que a equação, isoladamente, não torna evidente?	Avaliar se o recurso visual contribui para a compreensão do fenômeno.
Relação equação-fenômeno	O material explicita o significado físico dos termos matemáticos?	Verificar se há conexão clara entre formalismo matemático e interpretação fenomenológica.
Integração interdisciplinar	O material permite conexão entre Termodinâmica, Fenômenos de Transporte e Reatores Químicos?	Analisar se a figura contribui para uma leitura integrada dentro da Engenharia Química.
Potencial de mediação didática	O material pode auxiliar o professor na explicação de conceitos abstratos?	Avaliar a utilidade do material como apoio em aulas, revisões ou resolução de problemas.
Risco de simplificação	A representação visual pode induzir simplificações excessivas ou analogias incorretas?	Identificar pontos que exigem explicação adicional do docente.
Aplicabilidade em sala	O material pode ser usado em diferentes momentos da formação em Engenharia Química?	Verificar se o Produto educacional é reutilizável e adaptável a diferentes disciplinas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produto educacional

O principal resultado deste trabalho é o desenvolvimento, organização e validação técnico-pedagógica de um conjunto de materiais visuais destinados ao ensino interdisciplinar da difusão de massa em Engenharia Química. O Produto educacional permite organizar a aprendizagem a partir de uma progressão conceitual que se inicia na força motriz termodinâmica, passa pela conservação da espécie química e avança para modelos de difusão com diferentes hipóteses físicas, incluindo casos com e sem reação química.

A Figura 1 sintetiza essa proposta ao posicionar a equação de conservação da espécie química como ponto de convergência entre três disciplinas. A Figura 2 destaca a contribuição da Termodinâmica I para a compreensão da difusão, ao apresentar a força motriz como tendência de redistribuição em sistemas afastados do equilíbrio. A Figura 3 representa a contribuição de Fenômenos de Transporte ao

relacionar o gradiente de concentração com o fluxo difusivo. A Figura 4 amplia a discussão para Reatores Químicos ao introduzir o termo fonte na conservação da espécie.

A análise da Figura 4 evidenciou um aspecto central da proposta: materiais visuais produzidos com apoio de inteligência artificial podem apresentar elevado potencial didático, mas exigem mediação e validação conceitual pelo professor. Na etapa de refinamento do infográfico sobre reação-difusão, observou-se que a representação visual indicava a transformação da espécie A em produto B, porém a legenda poderia associar de forma ambígua ($r_A > 0$) à geração da espécie A. Essa inconsistência poderia induzir interpretação incorreta do termo fonte, especialmente em Reatores Químicos, nos quais a convenção adotada para a taxa líquida de geração ou consumo deve ser explicitada com rigor. Assim, a revisão docente permitiu reforçar que, para uma reação do tipo ($A \rightarrow B$), a espécie A é consumida, de modo que ($r_A < 0$), enquanto o produto B é gerado, podendo-se representar ($r_B > 0$). Esse exemplo reforça que a

qualidade visual de um material não garante, por si só, sua correção técnico-científica.

Esse resultado também evidencia que o uso de mídias visuais no ensino de Engenharia Química deve ser compreendido como estratégia de mediação, e não como substituição da explicação docente. Embora a aprendizagem multimídia reconheça o valor da combinação entre palavras e imagens para favorecer a compreensão de conteúdos complexos (Mayer, 2009), representações visuais mal revisadas podem aumentar a carga cognitiva ou gerar associações conceituais equivocadas (Sweller, 1988). Nesse sentido, a atuação do professor é indispensável para transformar o conteúdo técnico em uma representação didaticamente adequada, conforme a noção de conhecimento pedagógico do conteúdo proposta por Shulman (1986). No caso de ferramentas digitais e inteligência artificial, essa mediação torna-se ainda mais relevante, pois envolve a integração entre conhecimento tecnológico, pedagógico e específico da área. Portanto, o valor do NotebookLM na proposta não está na geração automática de figuras, mas no ciclo de

curadoria, revisão, correção e contextualização realizado pelos docentes.

A análise dos materiais com base na matriz de validação técnico-pedagógica indicou que a proposta apresenta maior contribuição em três aspectos principais: relação equação-fenômeno, integração interdisciplinar e potencial de mediação didática. Em relação à conexão entre equação e fenômeno, os materiais permitem explicitar visualmente que termos matemáticos como gradiente, acúmulo e termo fonte representam processos físicos específicos. Em relação à integração interdisciplinar, a proposta mostra que a difusão de massa pode ser compreendida como fenômeno comum às três disciplinas, ainda que cada uma enfatize uma dimensão distinta do problema. Em relação à mediação didática, as figuras funcionam como pontos de partida para a explicação docente, especialmente em temas nos quais a abstração matemática tende a dificultar a visualização microscópica.

A Tabela 3 apresenta uma síntese da análise técnico-pedagógica das figuras propostas, considerando os principais critérios da matriz de validação.

Tabela 3. Síntese da análise técnico-pedagógica das figuras propostas.

Material visual	Correção conceitual	Integração interdisciplinar	Potencial de mediação didática	Risco de simplificação	Observação docente
Figura 1 – Conservação da espécie como eixo integrador	Alto	Alto	Alto	Médio	A figura sintetiza a proposta interdisciplinar, mas exige que o professor explique que a equação conceitual é uma representação simplificada do balanço de espécie.
Figura 2 – Força motriz termodinâmica	Alto	Médio	Alto	Médio	A representação por diferença de concentração é adequada em nível introdutório, mas deve ser conectada posteriormente a potencial químico, atividade ou fugacidade.
Figura 3 – Gradiente, fluxo e regimes de difusão	Alto	Alto	Alto	Baixo/Médio	A figura favorece a interpretação da Lei de Fick e dos regimes de difusão, mas requer discussão complementar sobre sinal do fluxo e hipóteses do modelo.
Figura 4 – Acoplamento reação-difusão	Alto	Alto	Alto	Médio	A figura conecta transporte e termo fonte, mas deve ser acompanhada de distinção entre reação homogênea, heterogênea e limitação difusional.

A aplicação da matriz evidenciou a necessidade de atenção ao risco de simplificação. Embora os infográficos favoreçam a compreensão inicial, alguns conceitos exigem complementação pelo professor. A representação da força motriz por diferença de concentração, por exemplo, é adequada em uma abordagem introdutória, mas deve ser posteriormente conectada a conceitos termodinâmicos mais amplos como o potencial químico da espécie de interesse. De forma semelhante, a representação do fluxo difusivo por setas pode facilitar a visualização, mas deve ser acompanhada da discussão sobre sinal, direção do gradiente e hipóteses da Lei de Fick.

Outro ponto identificado pela análise do material foi a importância de distinguir materiais de introdução conceitual e materiais de formalização matemática. As figuras propostas não substituem a resolução analítica de problemas, nem dispensam a formulação de hipóteses, condições iniciais e condições de contorno. Seu papel é atuar como mediação visual para que o estudante possa compreender o fenômeno antes de avançar para o desenvolvimento matemático completo. Bem como servirem de resumo visual, lembrete de conceitos e material resumido de consulta.

A participação de docentes de três áreas fortaleceu a análise dos materiais. A perspectiva de Termodinâmica permitiu qualificar a discussão sobre força motriz e equilíbrio, frequentemente aplicada no estudo de difusão mássica. A perspectiva de Fenômenos de Transporte assegurou a coerência dos regimes de difusão e das hipóteses de modelagem, enquanto a perspectiva de Reatores Químicos ampliou a proposta ao incorporar o termo fonte e a possibilidade de acoplamento entre difusão e reação.

O uso do NotebookLM apresentou potencial como ferramenta de apoio à organização visual do conhecimento. Esta ferramenta contribuiu para transformar conteúdos abstratos em estruturas gráficas mais acessíveis, como mapas de decisão, quadros comparativos e infográficos. No entanto, a análise docente reforçou que materiais gerados com apoio de inteligência artificial exigem validação rigorosa, uma vez que deixam margem à interpretação, que muitas vezes pode ser errônea ou simplificada demais. Assim, o valor pedagógico da proposta não está no uso isolado da inteligência artificial, mas no processo de curadoria, revisão e recontextualização realizado pelos professores.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a análise técnico-pedagógica de materiais visuais produzidos com apoio do NotebookLM para o ensino interdisciplinar da difusão de massa em Engenharia Química. A proposta articula Fenômenos de

Transporte, Reatores Químicos e Termodinâmica I, tendo como eixo integrador a equação de conservação da espécie química.

A principal contribuição do trabalho está em transformar conceitos abstratos em representações visuais capazes de apoiar a mediação docente. A força motriz deixa de ser apenas um conceito termodinâmico isolado; o fluxo difusivo passa a ser interpretado como consequência de gradientes; o termo fonte passa a conectar transporte e reação; e as condições de contorno passam a ser vistas como representações físicas visuais das fronteiras do sistema.

A análise docente orientada por matriz de validação técnico-pedagógica indicou que os materiais apresentam potencial para apoiar a explicação de tópicos tradicionalmente desafiadores, como célula de Arnold, regime pseudo-estacionário, difusão transiente, difusão bidimensional, difusão transiente e difusão com reação química. O NotebookLM mostrou-se útil como ferramenta auxiliar de organização e visualização, desde que seu uso seja acompanhado por curadoria conceitual, validação crítica e responsabilidade autoral docente.

Conclui-se que a proposta constitui um Produto educacional replicável e interdisciplinar, com potencial para apoiar o ensino de conteúdos estruturantes da Engenharia Química. Como continuidade, recomenda-se que futuras aplicações investiguem, mediante avaliação ética quando cabível, a percepção discente e o impacto dos materiais na aprendizagem conceitual.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo suporte institucional às atividades de ensino, desenvolvimento didático e integração interdisciplinar que motivaram a elaboração desta proposta.

REFERÊNCIAS

- BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. Transport Phenomena. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.
- CREMASCO, M. A. Fundamentos de Transferência de Massa. São Paulo: Blucher, 2015.
- CUSSLER, E. L. Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- FOGLER, H. S. Elements of Chemical Reaction Engineering. 5. ed. Boston: Prentice Hall, 2016.

GOOGLE. NotebookLM. Ferramenta de pesquisa e organização de fontes com inteligência artificial. Disponível em: <https://notebooklm.google/>. Acesso em: 21 jun. 2026.

LEVENSPIEL, O. Chemical Reaction Engineering. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

MAYER, R. E. Multimedia Learning. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. Journal of Management Information Systems, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PRAUSNITZ, J. M.; LICHTENTHALER, R. N.; AZEVEDO, E. G. Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

RICHEY, R. C.; KLEIN, J. D. Design and Development Research: Methods, Strategies, and Issues. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.

SHULMAN, L. S. Those who understand: knowledge growth in teaching. Educational Researcher, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M.; SWIHART, M. T. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. 8. ed. New York: McGraw-Hill, 2018.

SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning. Cognitive Science, v. 12, n. 2, p. 257-285, 1988.