



Promovendo a qualificação profissional para a transição energética na engenharia química por meio de uma abordagem integradora transdisciplinar

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6010

Autores: BRUNO RAMOS, BRUNA PRATTO, LUIS FERNANDO NOVAZZI, RODRIGO CONDOTTA

Resumo: Este trabalho apresenta a implementação de uma trilha integradora em um curso de Engenharia Química estruturada em torno do estudo de caso da produção de amônia verde como vetor da transição energética. A proposta articula quatro disciplinas sequenciais, permitindo o desenvolvimento progressivo de um projeto de processo químico ao longo de dois anos. Fundamentada em metodologias ativas, a trilha promove a integração entre saberes técnicos, pesquisa aplicada e colaboração com a indústria. Os estudantes visitaram uma planta de produção de amônia e receberam avaliação técnica de engenheiros do setor. Os resultados parciais indicam alto engajamento, valorização da interação com profissionais externos e percepção de desenvolvimento de competências como trabalho em equipe, comunicação técnica, e resolução de problemas complexos. A experiência reforça o potencial de trilhas formativas para alinhar ensino, pesquisa e prática profissional diante dos desafios contemporâneos da engenharia.

Palavras-chave: Integração Curricular, Interação Universidade-Empresa, Aprendizagem Baseada em Projetos

PROMOVENDO A QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA ENGENHARIA QUÍMICA POR MEIO DE UMA ABORDAGEM INTEGRADORA TRANSDISCIPLINAR

1 INTRODUÇÃO

A formação em Engenharia tem sido cada vez mais desafiada a responder às demandas contemporâneas por inovação tecnológica, responsabilidade socioambiental e atuação frente às mudanças climáticas. Na Engenharia Química, isso se traduz em temas como a descarbonização de processos, o uso de fontes alternativas de energia e o desenvolvimento de soluções com impacto técnico e social. Encarar estes desafios exige revisar modelos curriculares ainda fragmentados, em favor de experiências formativas mais integradas, colaborativas e situadas. Superar o modelo tradicional requer abordagens pedagógicas que articulem ensino, pesquisa e prática profissional, com foco em problemas reais e metodologias ativas.

Este artigo apresenta a concepção e implementação de um novo estudo de caso da trilha de disciplinas integradoras no curso de Engenharia Química do Centro Universitário FEI, focado na produção de amônia verde por eletrólise. A trilha integradora envolve quatro disciplinas sequenciais, Engenharia Química Integrada (EQI) I a IV, com o desenvolvimento progressivo de um projeto de processo ao longo de quatro semestres. Nesta edição, além da mobilização de conteúdos técnicos, incluímos uma visita técnica e a participação de engenheiros da indústria na avaliação final dos alunos.

A proposta da disciplina difere de abordagens tradicionais ao promover o desenvolvimento contínuo de um único projeto ao longo de quatro semestres. Essa continuidade permite aprofundar conteúdos técnicos e integrar competências de forma gradual, aproximando os estudantes de desafios reais da profissão.

A escolha do tema dialoga com a agenda da transição energética e com linhas de pesquisa do departamento, favorecendo a articulação entre ensino e investigação. A proposta está alinhada à Resolução CNE/CES nº 02/2019 das Diretrizes Curriculares Nacionais (Ministério da Educação, 2019) e fundamenta-se em metodologias ativas, com inspiração construtivista e valorização de contextos autênticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundamentos da aprendizagem ativa em engenharia química

A aprendizagem ativa tem se consolidado como estratégia eficaz para promover o desenvolvimento de competências técnicas e transversais na formação em engenharia. Ao contrário de modelos centrados na transmissão de conteúdo, as abordagens ativas colocam o estudante no centro do processo, desafiando-o a resolver problemas, atuar em equipe e aplicar conhecimentos em situações reais. Essa orientação está alinhada às Diretrizes Curriculares Nacionais (Ministério da Educação, 2019), que enfatizam a formação por competências, a interdisciplinaridade e o protagonismo estudantil.

Entre essas abordagens, destaca-se a aprendizagem baseada em projetos (*Project-Based Learning*, PBL), que integra teoria e prática de forma contextualizada e interdisciplinar (Kolomos; Fink; Krogh, 2004). No ensino de Engenharia Química, o PBL tem demonstrado impacto positivo no desenvolvimento de competências profissionais, como pensamento crítico, autonomia, criatividade e comunicação (Johnson *et al.*, 2015; Johnson; Ulseth, 2016;

Santos *et al.*, 2021). Essa abordagem também favorece a retenção de conhecimento técnico e a empregabilidade dos egressos ao aproximar os estudantes de desafios reais da profissão (Bilgin *et al.*, 2022).

Esses princípios têm sido aplicados em diferentes contextos educacionais no Brasil. Em trabalhos anteriores (Ramos *et al.*, 2023), discutimos como a adoção de metodologias ativas em disciplinas como Reatores e Segurança de Processos resultou em maior engajamento e aprofundamento conceitual; e descrevemos como o uso de IA generativa pode ampliar a personalização e a complexidade dos cenários de aprendizagem (Ramos, Bruno; Condotta, 2024).

Fundamentada em teorias construtivistas (Dewey; Tampoio, 2024; Freire, 2017; Piaget, 1994; Vygotskij; Cole, 1981), a trilha integradora apresentada neste trabalho promove um ambiente em que o conhecimento é construído de forma situada e reflexiva, desafiando os estudantes a aplicar conceitos, tomar decisões e justificar tecnicamente suas escolhas em projetos conectados a problemas reais.

2.2 A integração curricular

A ideia de uma educação mais integrada remonta ao início do século XX (Dewey; Tampoio, 2024), quando surgiu o conceito de uma formação holística voltada para a vida democrática. Essa visão influenciou abordagens construtivistas surgidas no século XX, que criticaram currículos fragmentados e propuseram a articulação entre saberes como resposta às demandas sociais e profissionais. No campo da organização curricular, destaca-se Ralph Tyler (Tyler; Hlebowitsh, 2013), que propôs uma estrutura baseada na definição de objetivos educacionais claros e na coerência entre os componentes curriculares, ainda que sem usar diretamente o termo "*integração*".

A década de 1980 viu uma expansão no ideal integrador. Na área da Engenharia, em virtude da necessidade de articular teoria e prática, reduzir sobrecargas e desenvolver competências além das técnicas, os estudos voltados ao ensino de Engenharia Química (Institution of Chemical Engineers, 1981) e o relatório do National Research Council (1986) apontavam avanços como a valorização de laboratórios e maior aproximação com a indústria, mas também diagnosticavam rigidez estrutural e excesso de fragmentação nos currículos da época.

A discussão ganhou novo fôlego com o modelo da "*Escada da Integração*" (Harden, 2000), que apresenta níveis crescentes de articulação curricular, da justaposição disciplinar à transdisciplinaridade plena, como ilustra a Figura 1.

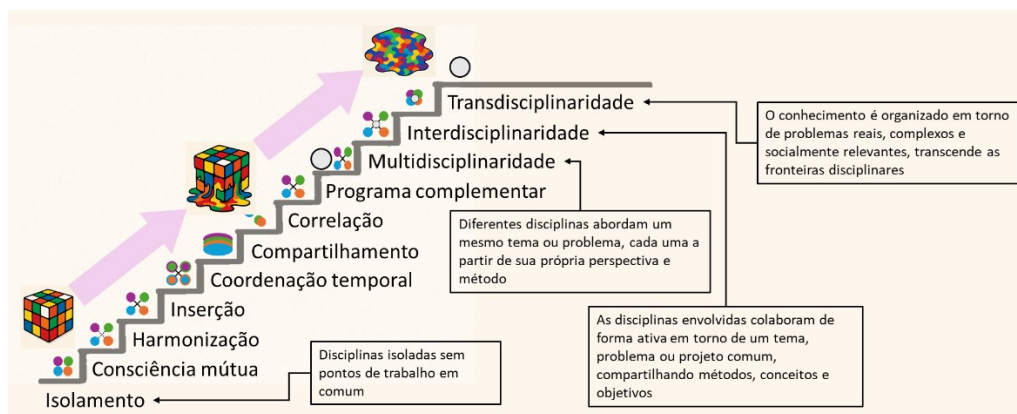


Figura 1. Escada da Integração (baseado em Harden, 2000)

Complementando essa visão, Drake e Burns (2004) propuseram o modelo KDB (Know/Do/Be), que estrutura o currículo a partir de conhecimentos duradouros, habilidades

transferíveis e valores formativos, orientando o planejamento pedagógico em torno de perguntas centrais. Esse arcabouço oferece uma ferramenta útil para conectar diferentes disciplinas em torno de temas ou problemas autênticos, favorecendo tanto a interdisciplinaridade quanto o desenvolvimento de competências transversais. A Tabela 1 exemplifica como essas dimensões orientam perguntas pedagógicas que ajudam o professor a alinhar os componentes curriculares de forma significativa, coerente e centrada no desenvolvimento integral do estudante.

Tabela 1. Modelo KDB de integração curricular.

Dimensão	Foco curricular	Pergunta orientadora
KNOW	Conceitos essenciais e de longa duração	O que os alunos precisam compreender com solidez?
DO	Habilidades cognitivas e práticas transferíveis	O que os alunos devem ser capazes de fazer?
BE	Atitudes, valores e disposições pessoais	Que tipo de pessoas queremos que os alunos se tornem?

Nesse contexto, as trilhas formativas integradoras emergem como uma estratégia promissora. Elas permitem a integração simultânea e longitudinal de conteúdos, favorecendo a interdisciplinaridade, a contextualização e o desenvolvimento de competências complexas, aspectos cada vez mais demandados pela formação em Engenharia.

2.3 A integração ensino-pesquisa

A articulação entre ensino e pesquisa é um princípio estruturante da educação superior, especialmente nas áreas de ciência e tecnologia. Ao conectar os conteúdos discutidos em sala às investigações em andamento, cria-se um espaço formativo mais autêntico e crítico, que favorece a motivação dos estudantes e seu pertencimento à comunidade científica. Como propõem Griffiths (2004) e Healey e Jenkins (2009), essa integração pode ocorrer em diferentes níveis; do ensino apenas *informado* pela pesquisa até aquele *liderado* por ela. No contexto da Engenharia Química, essa aproximação se fortalece quando os projetos discutidos em sala refletem problemas reais enfrentados em atividades de iniciação científica, mestrado ou colaborações com empresas. Tal estratégia estimula a aprendizagem investigativa e fortalece a identidade do curso como ambiente produtor de conhecimento, preparando os estudantes para atuarem com autonomia, criticidade e familiaridade com os processos de pesquisa aplicada.

2.4 A integração com agentes externos

A integração entre universidade e setor produtivo tem sido reconhecida como um fator essencial para alinhar a formação em Engenharia às demandas contemporâneas da profissão (Etzkowitz, 2008). A participação de *stakeholders* externos – por meio de visitas técnicas, bancas avaliadoras ou coorientação de projetos – amplia o repertório dos estudantes, aproxima teoria e prática e estimula competências interpessoais e profissionais. De acordo com Vuorinen *et al.* (2024), colaborações eficazes se apoiam nos “Seis Cs”: *coerência, capacidade, comprometimento, comunicação, confiança* e *contexto*. Além disso, como mostram Shah e Gillen (2024), a atuação de “agentes de fronteira” (*boundary spanners*) é estratégica para alinhar expectativas e realidades entre os dois mundos. Ao contribuir com *feedback*, avaliação e diálogo técnico, os profissionais da indústria promovem um tipo de aprendizagem situada (Lave; Wenger, 2009), expondo os estudantes a linguagens, padrões

de desempenho e formas de pensar características do ambiente profissional, ao mesmo tempo que fortalecem seu senso de responsabilidade e qualidade nas entregas.

2.5 A integração temporal

Por fim, a formação em engenharia exige, cada vez mais, a capacidade de atuar em contextos marcados pela complexidade, incerteza e transformação contínua. Nesse cenário, ganha destaque o *Futures Thinking*, uma abordagem que estimula a imaginação crítica, a análise de padrões emergentes e a projeção de cenários sustentáveis e socialmente responsáveis (Dalal; Carberry; Archambault, 2023). Trata-se de formar engenheiros capazes de antecipar desafios e planejar intervenções no presente com base em impactos futuros, uma competência central para preparar profissionais transformadores, conscientes de seu papel em sociedades em transição (Miller, 2018). Lidar com a incerteza é parte fundamental da formação de profissionais conscientes e reflexivos (Wellington *et al.*, 2002)

O *Futures Thinking* é parte de uma formação mais crítica orientada à ação. A estrutura FAWTEER (Dalal; Carberry; Archambault, 2021) organiza quatro formas complementares de pensar – *futures*, *values*, *systems* e *strategic thinking* – que, juntas, constituem a base dessa formação. No estudo de caso aqui reportado, o estudo sobre amônia verde funciona como vetor para desenvolver esse tipo de pensamento.

3 METODOLOGIA

3.1 Contexto institucional e estrutura curricular

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do curso de Engenharia Química do Centro Universitário FEI. O curso está estruturado conforme as Diretrizes Curriculares Nacionais de 2019, adotando uma abordagem centrada no desenvolvimento de competências e na integração de conhecimentos por meio de projetos e metodologias ativas. Dentro dessa perspectiva, o curso conta com um eixo formativo composto por quatro disciplinas sequenciais de Engenharia Química Integrada (EQI I a IV), distribuídas entre o quinto e o oitavo semestre. Essas disciplinas formam uma trilha longitudinal dedicada ao desenvolvimento de um projeto de processo químico ao longo de dois anos letivos, permitindo que os estudantes articulem progressivamente conteúdos como balanços de massa e energia, dimensionamento de equipamentos, simulação de processos, controle e avaliação econômica.

Essa proposta pedagógica vem sendo documentada e analisada em trabalhos anteriores, incluindo apresentações em anos recentes (Pratto; Novazzi, 2023; Ramos *et al.*, 2024), que discutiram aspectos da modelagem curricular, uso de simuladores, alinhamento entre etapas e integração com as disciplinas teóricas. Esses estudos destacaram a potencialidade da trilha para promover uma aprendizagem mais significativa, conectada com os desafios da prática profissional e com as competências previstas pelas DCNs.

A trilha integradora se apoia em disciplinas como Termodinâmica, Reatores Químicos, Operações Unitárias, Segurança de Processos, Simulação e Controle, que oferecem a base técnica necessária para a realização do projeto. Essa articulação curricular visa superar a fragmentação tradicional dos cursos de engenharia, promovendo uma aprendizagem situada, inter- e transdisciplinar, conforme previsto na Resolução CNE/CES nº 2/2019 (Ministério da Educação, 2019).

3.2 Organização da trilha integrada

A trilha de disciplinas integradas tem como eixo central o desenvolvimento de um projeto de processo químico completo, abordado desde as etapas de concepção até a análise de viabilidade econômica. O mesmo estudo de caso é mantido ao longo dos quatro semestres, de modo que os alunos possam vivenciar todas as etapas do projeto de forma aprofundada,

com crescente grau de complexidade. A cada ano é selecionado um novo estudo de caso a ser iniciado pela turma de EQI I. Ao organizar a trilha em torno de problemas reais, é possível trabalhar conteúdos no mais alto nível de integração curricular, como ilustrado na Figura 1.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos principais tópicos técnicos trabalhados em cada disciplina da trilha integrada, acompanhados das ferramentas utilizadas e das competências desenvolvidas ao longo do processo. Essa organização reflete a intencionalidade pedagógica da trilha em articular conhecimentos teóricos, habilidades práticas e atitudes voltadas à resolução de problemas complexos e ao pensamento sistêmico.

Tabela 2. Distribuição de tópicos e uso de ferramentas ao longo da trilha de Engenharia Química Integrada

Disciplina	Tópicos Técnicos Abordados	Ferramentas e Competências Envolvidas
EQI I	Avaliação do contexto da transição energética Escolha da rota de produção de amônia verde Balanços de massa e energia preliminares Estimativa de custos operacionais iniciais	Planilhas eletrônicas Pensamento sistêmico Sustentabilidade
EQI II	Definição de layout e localização da planta Dimensionamento de tanques, compressores e trocadores de calor Definição de utilidades e fluxogramas operacionais	Projeto de equipamentos Aspen EDR Tomada de decisão técnica
EQI III	Dimensionamento dos reatores Definição dos sistemas de separação Análise de sensibilidade	Aspen Plus Modelagem e simulação Aplicação de cinética e termodinâmica
EQI IV	Estimativa de custos de capital Otimização de etapas críticas do processo Instrumentação e controle Avaliação econômica e de impacto ambiental	Aspen Dynamics, Matlab/Simulink Avaliação multicritério Comunicação técnica

Ao longo da trilha, os estudantes trabalham em grupos de 4 a 5 integrantes, com liberdade para escolherem suas equipes. As turmas são limitadas a 24 alunos, permitindo acompanhamento mais próximo por parte dos docentes. A avaliação combina entregas técnicas, relatórios e apresentações, além de autoavaliação e avaliação por pares, que compõem um fator multiplicador aplicado à média final do grupo, entre 0,5 e 1,0.

3.3 Seleção do estudo de caso e conexão com as pesquisas do departamento

Edições anteriores da trilha de Engenharia Química Integrada adotaram estudos de caso tradicionais, como os processos de produção da acetona e do etilbenzeno. Nesta nova iteração, com o objetivo de propor um estudo mais alinhado aos desafios contemporâneos da profissão – especialmente no que diz respeito à sustentabilidade e à transição energética – a edição atual da trilha adotou como estudo de caso a produção de amônia verde a partir de hidrogênio obtido por eletrólise da água. O tema foi escolhido por sua alta relevância na agenda global de descarbonização e por seu potencial didático como elemento articulador de conteúdos como termodinâmica, cinética, projeto de processos e avaliação ambiental. Também permite discutir eficiência energética, fontes renováveis e inovação tecnológica de forma integrada.

Outro critério decisivo foi a conexão com linhas de pesquisa em andamento no departamento, incluindo projetos de iniciação científica sobre síntese de amônia em condições brandas com catalisadores fotocatalíticos e reatores não convencionais, e investigações sobre o uso de hidrogênio verde para melhorar o desempenho energético de sistemas veiculares. A atuação dos docentes nesses projetos facilita a transposição de desafios abertos para o

ambiente de sala de aula. Essa articulação entre ensino e pesquisa visa proporcionar aos estudantes uma experiência mais autêntica, estimulando o engajamento com problemas reais, o interesse por iniciação científica e a construção de uma postura crítica diante dos desafios da engenharia química no contexto da transição energética.

3.4 Inserção da interação com parceiro industrial

Como parte da proposta de integração entre ensino, pesquisa e prática profissional, foi estabelecida uma parceria com uma empresa especializada na produção de fertilizantes para possibilitar a interação dos estudantes com engenheiros atuantes na produção de amônia. Essa interação ocorreu em dois momentos principais: (i) durante uma visita técnica organizada à planta industrial, planejada como uma atividade de aprendizagem situada (Lave; Wenger, 2009), e (ii) na etapa final da disciplina, com a participação dos engenheiros da empresa na avaliação dos projetos desenvolvidos pelos alunos, configurando um modelo de avaliação autêntica (Gulikers; Bastiaens; Kirschner, 2004; Wellington *et al.*, 2002). A presença dos profissionais da indústria teve como objetivos: (i) aumentar o senso de responsabilidade dos estudantes, (ii) aproximar a formação acadêmica das exigências do mundo do trabalho, e (iii) permitir a escuta de *feedback* técnico realista sobre as soluções propostas.

3.5 Estratégia de coleta e análise de dados da implementação

A avaliação da proposta pedagógica foi realizada por meio da aplicação de um questionário online anônimo, desenvolvido na plataforma Moodle, utilizando o recurso "Pesquisa de avaliação". O questionário foi respondido por 8 estudantes, representando 50% da turma, e teve como objetivo coletar percepções parciais durante a implementação da trilha integrada. A estratégia adotada seguiu uma abordagem de método misto (*mixed methods*), combinando dados quantitativos e qualitativos de forma a capturar tanto a extensão quanto a profundidade das experiências dos estudantes (Creswell; Plano Clark, 2011).

O instrumento, apresentado na Tabela 3, foi composto por questões de múltipla escolha, escalas do tipo Likert e perguntas abertas. As perguntas foram organizadas em quatro blocos temáticos: (i) percepção da proposta pedagógica, (ii) engajamento e aprendizagem, (iii) trabalho em grupo e competências desenvolvidas, e (iv) articulação com o mundo real. Algumas questões permitiram múltiplas respostas, especialmente no bloco de competências, enquanto outras solicitavam justificativas ou reflexões em formato de texto livre. A estrutura do questionário seguiu recomendações de avaliação formativa em ambientes de aprendizagem ativa (Brookfield, 2017).

Tabela 3. Questionário aplicado aos alunos via Moodle.

Pergunta (resumo)	Tipo de resposta	Objetivo formativo avaliado
Você já havia estudado o tema "amônia verde" antes desta disciplina?	Múltipla escolha	Diagnóstico de conhecimento prévio
O estudo de caso facilita a compreensão dos conteúdos das outras disciplinas?	Escala Likert	Integração interdisciplinar
Nível de engajamento com o projeto proposto	Escala Likert	Engajamento e motivação
Nível de desafio percebido	Escala Likert	Complexidade percebida da proposta
O projeto contribui para sua formação como engenheiro(a)?	Múltipla escolha	Percepção de relevância e aplicabilidade
Você consegue relacionar conteúdos de disciplinas já cursadas?	Múltipla escolha	Transferência e integração de saberes
Avaliação da proposta de visita técnica	Escala Likert	Valorização da articulação ensino-prática

Pergunta (resumo)	Tipo de resposta	Objetivo formativo avaliado
Avaliação da participação de engenheiros da empresa na banca final	Múltipla escolha	Interação com o mundo do trabalho
Quais competências você percebe estar desenvolvendo com essa trilha?	Múltipla escolha	Desenvolvimento de competências (autoavaliação)
Quais outras competências gostaria de ter a oportunidade de desenvolver?	Múltipla escolha	Expectativas e lacunas percebidas
Comentários gerais sobre o projeto e o trabalho em grupo	Aberta	Avaliação qualitativa da experiência e aspectos colaborativos

Os dados fechados foram tratados por meio de estatísticas descritivas simples (frequências absolutas e relativas), com visualizações gráficas elaboradas em Python. O questionário foi aplicado na primeira metade e ao final do semestre letivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

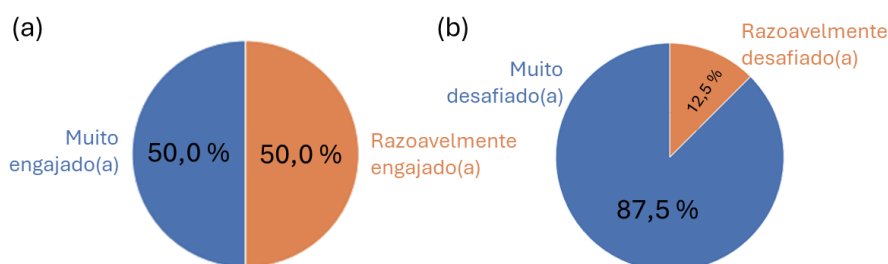
4.1 Perfil dos respondentes e contexto de aplicação

O questionário de avaliação parcial foi aplicado aos estudantes matriculados na EQI I quando a turma se encontrava no fim da primeira metade do semestre letivo, com as principais etapas do processo já definidas. Dos 16 alunos regularmente matriculados, oito responderam voluntariamente ao instrumento, o que representa 50% de taxa de participação. Ressalta-se que, até o momento da pesquisa parcial, não haviam sido realizadas ainda as interações com os parceiros da indústria.

4.2 Percepção dos estudantes sobre a proposta pedagógica

Os resultados obtidos revelam níveis elevados de engajamento e percepção de desafio entre os participantes. Todos os respondentes afirmaram estar "muito" ou "razoavelmente engajados" com a proposta da trilha, e relataram se sentir desafiados pelo projeto (Figura 2). Esses dados sugerem que a proposta de trabalhar com um estudo de caso real tem sido bem-sucedida em gerar envolvimento e senso de relevância entre os estudantes.

Figura 2. Percepção dos alunos quanto à proposta pedagógica.



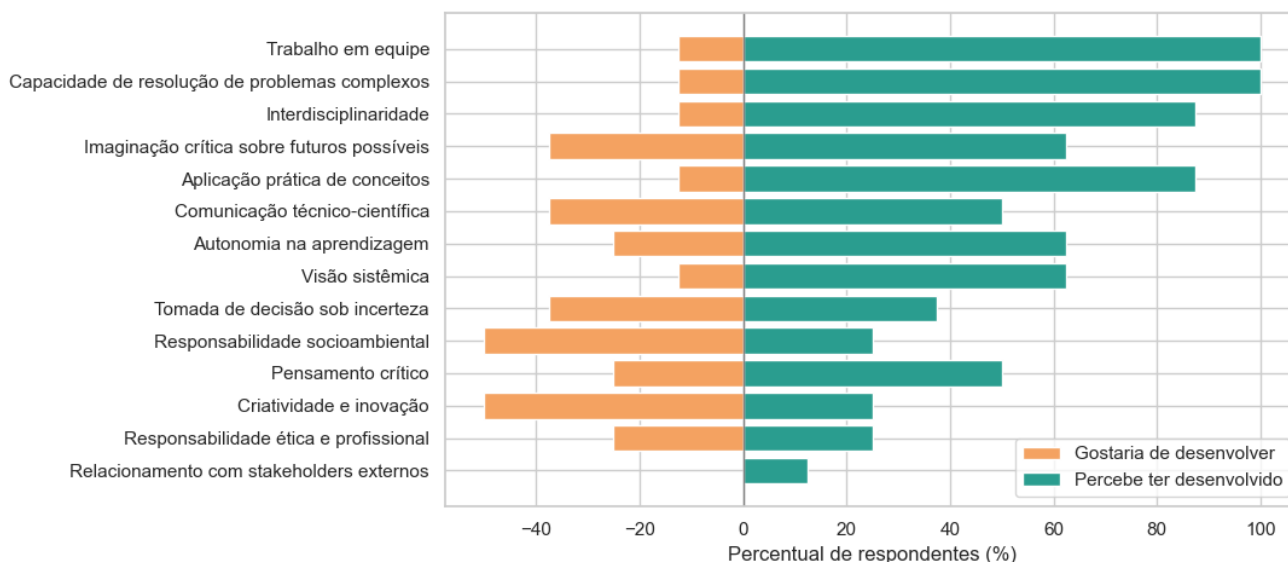
Esse tipo de resposta positiva está alinhado à literatura que associa metodologias ativas ao aumento do engajamento e da motivação discente, especialmente quando os projetos abordam problemas autênticos e contextualizados (Bransford; National Research Council, 2004; Kolomos; Fink; Krogh, 2004). A elevada percepção de desafio também pode ser vista como um indicativo de "engajamento produtivo", situação em que o esforço exigido é proporcional ao potencial de aprendizagem.

Ao serem questionados sobre as competências que consideram estar desenvolvendo ou ao longo da trilha, os estudantes assinalaram com mais frequência os seguintes aspectos: trabalho em equipe, capacidade de resolução de problemas complexos e aplicação prática de conceitos e interdisciplinaridade, como ilustra a Figura 3.

Esses resultados estão em consonância com os objetivos delineados pelas DCNs da Engenharia, que destacam a importância da formação por competências integradas. Além

disso, reforçam achados da literatura que apontam o PBL como uma abordagem capaz de promover o domínio técnico aliado ao desenvolvimento de habilidades interpessoais e metacognitivas (Johnson; Ulseth, 2016; Ramos; Condotta, 2024).

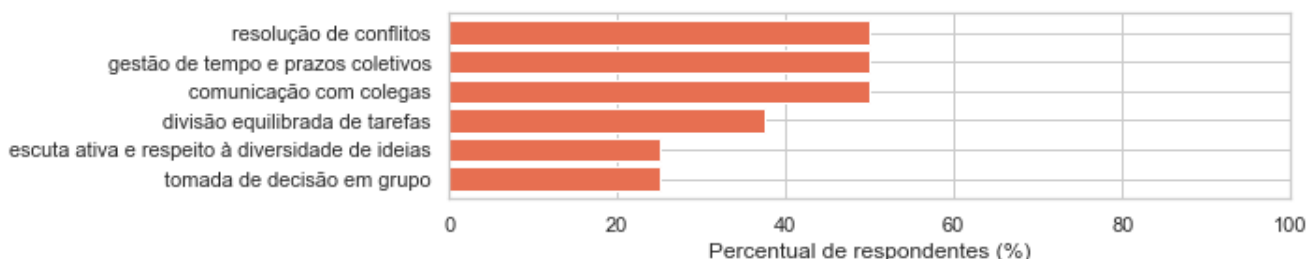
Figura 3. Percepção dos estudantes sobre competências desenvolvidas na trilha de Engenharia Química.



4.3 Desafios observados na experiência de trabalho em grupo

Apesar da avaliação geral positiva da proposta, os comentários abertos revelaram dificuldades no trabalho em grupo, principalmente relacionadas à comunicação e à gestão do tempo coletivo. A Figura 4 sintetiza os aspectos mais frequentemente apontados pelos estudantes como desafiadores nesse contexto.

Figura 4. Avaliação dos alunos quanto às dificuldades encontradas no trabalho em grupo.

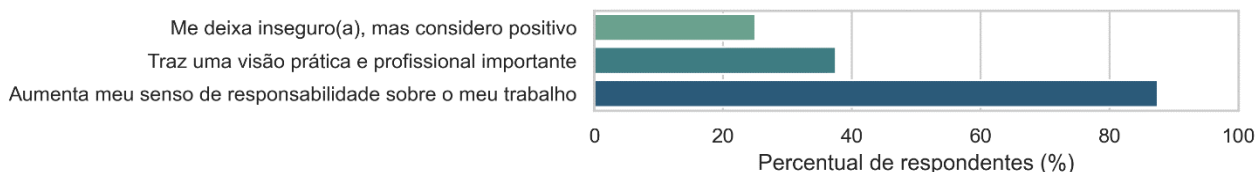


Tais dificuldades são amplamente documentadas em experiências de aprendizagem baseada em projetos, sobretudo quando o trabalho colaborativo não é formalmente estruturado (Boud; Feletti, 2013; Prince, 2004). Mesmo em metodologias ativas como o PBL, a cooperação eficaz exige mediação docente, papéis definidos, metas claras e estratégias de acompanhamento (Ramos; Condotta, 2024; Santos *et al.*, 2021).

4.4 Interação com a indústria e impacto percebido

Um dos diferenciais desta edição da trilha foi a inserção de um parceiro industrial, por meio da visita técnica a uma planta de produção de amônia e da participação de engenheiros da empresa na banca de avaliação final. Essa dimensão prática foi altamente valorizada pelos estudantes: todos os respondentes consideraram a visita “*extremamente relevante*”, e a presença dos profissionais foi percebida como fator que aumentou o senso de responsabilidade, realismo e motivação como mostra a Figura 5.

Figura 5. Percepção dos alunos quanto à participação de profissionais da empresa em sua avaliação.



Essas percepções estão alinhadas à literatura sobre colaborações universidade-indústria no ensino de engenharia, que destacam sua contribuição para o desenvolvimento de competências técnicas e interpessoais, quando estruturadas com objetivos claros e comunicação contínua (Shah; Gillen, 2024). A participação da indústria também promove aprendizagem situada, ao expor os estudantes a práticas e linguagens próprias do ambiente profissional. Do ponto de vista pedagógico, a presença da indústria pode ser entendida como uma forma de avaliação autêntica (Gulikers; Bastiaens; Kirschner, 2004), em que critérios de qualidade são derivados de práticas reais e os estudantes apresentam seus projetos a uma audiência externa. Essa estratégia fortalece a articulação entre ensino, pesquisa e prática, e contribui para a construção da identidade profissional dos engenheiros em formação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de uma trilha integrada no curso de Engenharia Química, com foco no estudo de caso da produção de amônia verde, mostrou-se uma estratégia eficaz para aproximar os estudantes de contextos reais, estimular o pensamento crítico e promover o desenvolvimento de competências técnicas e transversais. Ancorada em metodologias ativas e articulada com pesquisa e colaboração com a indústria, a proposta busca superar a fragmentação curricular e construir uma formação mais integrada e orientada ao futuro.

Os resultados parciais da avaliação indicam elevado engajamento dos estudantes, percepção positiva sobre o uso do estudo de caso e valorização da visita técnica e da participação de engenheiros no processo avaliativo. As competências mais citadas como desenvolvidas incluem trabalho em equipe, comunicação técnica, visão sistêmica e autonomia. Ao mesmo tempo, foram relatadas dificuldades na gestão do trabalho em grupo, apontando a necessidade de aprimorar estratégias de mediação docente.

Também emergiram sinais qualitativos de reflexão prospectiva, sugerindo que o uso de temas emergentes como a amônia verde pode favorecer a introdução de elementos do *Futures Thinking* na formação. Embora ainda incipiente, essa dimensão representa uma oportunidade para tornar os currículos mais responsivos à complexidade e à incerteza do mundo contemporâneo.

Entre as limitações do estudo, destaca-se o fato de os dados analisados serem parciais, dado que a disciplina ainda está em andamento. As percepções são autorreferidas e exigem triangulação com outros instrumentos avaliativos, como observações docentes e análise das entregas técnicas.

Como desdobramentos futuros, espera-se introduzir novas atividades estruturadas de exploração de futuros possíveis; ampliar a integração com parceiros externos em diferentes fases da trilha – em particular com o retorno dos avaliadores para a última fase (EQI IV). Além disso, os alunos indicaram interesse em desenvolver outras competências ao longo do curso, como ilustrado na Figura 3, em particular no que tange à criatividade e inovação, e à responsabilidade socioambiental, o que nos oferece dicas quanto ao caminho para seguir adiante.

Por fim, a experiência relatada mostra que é possível (e desejável!) articular ensino, pesquisa e prática profissional de forma significativa e coerente com os desafios da engenharia contemporânea. Mais do que capacitar para o domínio de ferramentas e conceitos,

a trilha integrada busca formar engenheiros capazes de compreender, transformar e projetar realidades, numa formação que conecta conhecimento, responsabilidade e imaginação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Yara Fertilizantes do Brasil Ltda., em particular à Eng^a. Nathália Sartori F. da Silva, pela viabilização da parceria indústria-universidade. BR agradece o apoio da FAPESP (23/14214-4) na viabilização de pesquisas para a produção de amônia verde, que subsidiaram o tema reportado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BILGIN, B.; PELLEGRINO, J.; MISCHER, C.; WEDGEWOOD, L.; BERRY, V. Developing Professional Identity: Integrating Academic and Workplace Competencies within Engineering Programs. *In: 2022 ASEE ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION*, Aug. 2022. **2022 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings** [...]. Minneapolis, MN: ASEE Conferences, Aug. 2022. p. 41974. DOI 10.18260/1-2--41974. Available at: <http://peer.asee.org/41974>. Accessed on: 21 Apr. 2025.
- BOUD, D.; FELETTI, G. **The Challenge of Problem-based Learning**. Hoboken: Taylor and Francis, 2013.
- BRANSFORD, J.; NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Eds.). **How people learn: brain, mind, experience, and school**. Expanded ed., 9. print. Washington, DC: National Academy Press, 2004.
- BRAUN, V.; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. **Qualitative Research in Psychology**, [s. l.], vol. 3, no. 2, p. 77–101, Jan. 2006. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>.
- BROOKFIELD, S. **Becoming a critically reflective teacher**. Second edition. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2017.
- CRESWELL, J. W.; PLANO CLARK, V. L. **Designing and conducting mixed methods research**. 2nd ed. Los Angeles: SAGE Publications, 2011.
- DALAL, M.; CARBERRY, A.; ARCHAMBAULT, L. Developing a Ways of Thinking Framework for Engineering Education Research. **Studies in Engineering Education**, [s. l.], vol. 1, no. 2, p. 108, 18 Feb. 2021. <https://doi.org/10.21061/see.38>.
- DALAL, M.; CARBERRY, A.; ARCHAMBAULT, L. Exploring the use of futures, values, systems, and strategic thinking among engineering education research collaborators. **Journal of Engineering Education**, [s. l.], vol. 112, no. 2, p. 382–402, Apr. 2023. <https://doi.org/10.1002/jee.20511>.
- DEWEY, J.; TAMPIO, N. **Democracy and education**. New York: Columbia University Press, 2024(Legacy editions).
- DRAKE, S. M.; BURNS, R. C. (Eds.). **Meeting standards through integrated curriculum**. Alexandria, Va: Association for Supervision and Curriculum Development, 2004.
- ETZKOWITZ, H. **The triple helix: university-industry-government innovation in action**. New York, NY: Routledge, 2008.
- FREIRE, P. **Pedagogy of the oppressed**. trans. by Myra Bergman Ramos. Published in Penguin Classics 2017. New York London New Delhi Sydney: Penguin Books, 2017(Penguin modern classics).
- GRIFFITHS, R. Knowledge production and the research–teaching nexus: the case of the built environment disciplines. **Studies in Higher Education**, [s. l.], vol. 29, no. 6, p. 709–726, Dec. 2004. <https://doi.org/10.1080/0307507042000287212>.
- GULIKERS, J. T. M.; BASTIAENS, T. J.; KIRSCHNER, P. A. A five-dimensional framework for authentic assessment. **Educational Technology Research and Development**, [s. l.], vol. 52, no. 3, p. 67–86, Sep. 2004. <https://doi.org/10.1007/BF02504676>.

- HARDEN, R. M. The integration ladder: a tool for curriculum planning and evaluation. **Medical Education**, [s. l.], vol. 34, no. 7, p. 551–557, Jul. 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2000.00697.x>.
- HEALEY, M.; JENKINS, A. Developing undergraduate research and inquiry. **The Higher Education Academy**, [s. l.], Jun. 2009. .
- INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS (Ed.). **Chemical engineering education**. Rugby: [s. n.], 1981(I.Chem.E.symposium series, 70).
- JOHNSON, B.; ULSETH, R. Development of professional competency through professional identity formation in a PBL curriculum. *In*: 2016 IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE), Oct. 2016. **2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)** [...]. Erie, PA, USA: IEEE, Oct. 2016. p. 1–9. DOI 10.1109/FIE.2016.7757387. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7757387/>. Accessed on: 21 Apr. 2025.
- JOHNSON, B.; ULSETH, R.; SMITH, C.; FOX, D. The impacts of project based learning on self-directed learning and professional skill attainment: A comparison of project based learning to traditional engineering education. *In*: 2015 IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE), Oct. 2015. **2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)** [...]. Camino Real El Paso, El Paso, TX, USA: IEEE, Oct. 2015. p. 1–5. DOI 10.1109/FIE.2015.7344028. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7344028/>. Accessed on: 21 Apr. 2025.
- KOLOMOS, A.; FINK, F. K.; KROGH, L. (Eds.). **The Aalborg PBL model -- progress, diversity and challenges**. Aalborg: Aalborg University Press, 2004.
- LAVE, J.; WENGER, E. **Situated learning: legitimate peripheral participation**. Cambridge: Cambridge university press, 2009(Learning in doing).
- MILLER, R. (Ed.). **Transforming the future: anticipation in the 21st century**. Abingdon, Oxon New York, NY: Routledge, 2018.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. 24 Apr. 2019.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.) (Ed.). **Engineering undergraduate education**. Washington, D.C: National Academy Press, 1986(Engineering education and practice in the United States).
- PIAGET, J. **The equilibration of cognitive structures: the central problem of intellectual development**. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1994.
- PRATTO, B.; NOVAZZI, L. F. Exemplo de Projeto Integrador no Curso de Graduação em Engenharia Química. *In*: 19º ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ENSINO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2023. **Anais do 19º ENBEQ** [...]. Salvador: [s. n.], 2023.
- PRINCE, M. Does Active Learning Work? A Review of the Research. **Journal of Engineering Education**, [s. l.], vol. 93, no. 3, p. 223–231, Jul. 2004. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>.
- RAMOS, B.; CONDOTTA, R. Enhancing Learning and Collaboration in a Unit Operations Course: Using AI as a Catalyst to Create Engaging Problem-Based Learning Scenarios. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], vol. 101, no. 8, p. 3246–3254, 13 Aug. 2024. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00244>.
- RAMOS, B.; DA SILVA, C. A. M.; OLIVIERI, G. V.; PRATTO, B.; NOVAZZI, L. F. Desenvolvendo o pensamento PSE na graduação através de uma trilha de disciplinas integradoras. *In*: III CONGRESSO BRASILEIRO EM ENGENHARIA DE SISTEMAS EM PROCESSOS, Jul. 2024. **Proceedings of the PSEBR 2024** [...]. São Paulo: [s. n.], Jul. 2024.
- RAMOS, B.; SANTOS, M. T. D.; VIANNA, A. S.; KULAY, L. An institutional modernization project in chemical engineering education in Brazil: Developing broader competencies for

- societal challenges. **Education for Chemical Engineers**, [s. l.], vol. 44, p. 35–44, Jul. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2023.04.003>.
- SANTOS, F. R. D.; OLIVEIRA, I. M. D.; SANTOS, L. C.; LEAL, R. E. G.; CARDOSO, M. Pedagogical strategies for Chemical Engineering courses: Skills development through Project-based learning (PBL). **Research, Society and Development**, [s. l.], vol. 10, no. 7, p. e40310715545, 26 Jun. 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.15545>.
- SHAH, R.; GILLEN, A. L. A systematic literature review of university-industry partnerships in engineering education. **European Journal of Engineering Education**, [s. l.], vol. 49, no. 3, p. 577–603, 3 May 2024. <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2253741>.
- TYLER, R. W.; HLEBOWITSH, P. S. **Basic principles of curriculum and instruction**. Chicago: Univ. of Chicago Press, 2013.
- VUORIAINEN, A.; RIKALA, P.; HEILALA, V.; LEHESVUORI, S.; OZ, S.; KETTUNEN, L.; HÄMÄLÄINEN, R. The six C's of successful higher education-industry collaboration in engineering education: a systematic literature review. **European Journal of Engineering Education**, [s. l.], , p. 1–25, 28 Nov. 2024. <https://doi.org/10.1080/03043797.2024.2432440>.
- VYGOTSKIJ, L. S.; COLE, M. **Mind in society: the development of higher psychological processes**. Nachdr. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press, 1981.
- WELLINGTON, P.; THOMAS, I.; POWELL, I.; CLARKE, B. Authentic Assessment Applied to Engineering and Business Undergraduate Consulting Teams. [s. l.], 2002.

PROMOTING PROFESSIONAL QUALIFICATION FOR THE ENERGY TRANSITION IN CHEMICAL ENGINEERING THROUGH A TRANSDISCIPLINARY INTEGRATIVE APPROACH

Abstract: *This paper presents the design and implementation of an integrated learning track in a Brazilian Chemical Engineering program, developed around the case study of green ammonia production as a driver of the energy transition. The initiative spans four sequential courses, in which students progressively develop a full-scale chemical process design over two academic years. Grounded in active and project-based learning, the track integrates technical knowledge, applied research, and real-world engagement with industry professionals, aiming to foster both technical and transversal competencies essential for engineering qualification. In this edition, students visited an ammonia production plant and presented their projects to practicing engineers. Preliminary findings show high levels of engagement, appreciation for the industry interaction, and perceived development of key skills such as teamwork, technical communication, systems thinking, and critical analysis. This experience demonstrates how integrated learning pathways can address the pressing challenges of engineering education in Brazil by promoting a contextualized, innovation-driven, and socially responsive approach.*

Keywords: *Chemical Engineering, Curricular Innovation, Green Ammonia, Competency-Based Education, Industry-Academia Integration*

