

Prospecção Tecnológica de Unidades Didáticas na Engenharia Química: tendências em patentes e lacunas educacionais

Technological Prospection of Didactic Units in Chemical Engineering: patent trends and educational gaps

José Carlos de Oliveira¹, Katia Tames Lourenço¹, Emanuely Kamilly Korbes¹, Janio Alves Ribeiro¹

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil

Resumo

A carência de infraestrutura em laboratórios didáticos nas instituições públicas brasileiras compromete a formação prática em Engenharia Química. Este estudo realizou uma prospecção científica e tecnológica sobre unidades didáticas aplicadas ao ensino da área, com base em 30 publicações indexadas no Google Acadêmico (2009-2025), bem como nas bases Scopus e Web of Science, além de 3.840 patentes extraídas da base Orbit, das quais 2.986 estão ativas e 854 inativas. Apenas duas patentes específicas em Engenharia Química foram identificadas (uma ativa e uma inativa), e no âmbito científico, observou-se que apenas duas iniciativas estão diretamente voltadas para o tema. No cenário tecnológico, a China lidera com 2.742 registros, seguida pela Índia (133) e Estados Unidos (111). As patentes ativas abordam tecnologias como *Building Information Modeling* (BIM), simulações 3D e avaliação adaptativa. Os resultados evidenciam lacunas expressivas no desenvolvimento de soluções didáticas específicas para a área, sobretudo na educação pública. Conclui-se que a integração de tecnologias emergentes e plataformas abertas representa uma oportunidade estratégica para a inovação no ensino superior em Engenharia Química.

Palavras-chave: Propriedade Intelectual Educacional; Tecnologias Emergentes no Ensino; Infraestrutura Didática na Engenharia.

Áreas Tecnológicas: Tecnologias Educacionais Aplicadas à Engenharia. Engenharia Sustentável e Infraestrutura Didática de Baixo Custo. Sistemas *Ciberfísicos* e Inteligência Artificial no Ensino Superior.

Abstract

The lack of infrastructure in teaching laboratories at Brazilian public institutions compromises practical training in Chemical Engineering. This study conducted a scientific and technological prospection of didactic units applied to teaching in this field, based on 30 publications indexed in Google Scholar, Scopus, and Web of Science (2009-2025), along with 3,840 patents retrieved from the Orbit database. In the scientific scope, only two specific initiatives focused on Chemical Engineering were identified. In the technological domain, China leads with 2,742 records, followed by India (133) and the United States (111). The active patents explore technologies such as Building Information Modeling (BIM), 3D simulations, and adaptive assessment. The results highlight significant gaps in the development of didactic solutions specific to the field, especially within public education. It is concluded that the integration of emerging technologies and open platforms represents a strategic opportunity for innovation in higher education in Chemical Engineering.

Keywords: Educational Intellectual Property; Emerging Technologies in Education; Didactic Infrastructure in Engineering.



1 Introdução

As instituições públicas de ensino superior passaram por significativas transformações nas últimas duas décadas, com o objetivo de atender às demandas do mercado nacional por capacitação profissional e superar deficiências de infraestrutura. O Decreto n. 3.860, de 9 de julho de 2001, que trata da organização do ensino superior e da avaliação de cursos e instituições, foi revogado pelo Decreto n. 5.773, de 9 de maio de 2006, o qual disciplinava as funções de regulação, supervisão e avaliação das instituições e cursos superiores no sistema federal de ensino. Posteriormente, este também foi revogado pelo Decreto n. 9.235, de 15 de dezembro de 2017, que atualmente estabelece as diretrizes para o exercício dessas funções no âmbito do ensino superior federal (Brasil, 2001; Brasil, 2006; Brasil, 2017). De acordo com o Decreto n. 9.235, de 15 de dezembro de 2017, os laboratórios, instalações, equipamentos e recursos tecnológicos existentes e a serem adquiridos devem ter identificação de sua correlação pedagógica e com projeto pedagógico de curso (PPC) (Brasil, 2017).

De acordo com a Constituição Federal de 1988, em seu artigo 213, inciso II, §2º; artigo 219, parágrafo único; e artigo 219-B, bem como a Lei n. 10.973, de 2 de dezembro de 2004, que trata dos incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica, o Estado, por meio de seus órgãos e instituições públicas, deve fomentar ações voltadas para o estímulo e a promoção do desenvolvimento científico, tecnológico e inovador (Brasil, 1988; Brasil, 2004).

Nesse contexto, foi promulgada a Lei n. 11.892, de 29 de dezembro de 2008, que instituiu a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica e criou os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia. Entre os objetivos dessas instituições, destaca-se a formação, a capacitação, o aperfeiçoamento e a atualização de profissionais nas diversas áreas da educação profissional e tecnológica, com ênfase nos cursos superiores de tecnologia, licenciatura, bacharelado, engenharia, e programas de pós-graduação *lato sensu* e *stricto sensu* (Brasil, 2008). Considerando a extensão territorial brasileira, a criação dos Institutos Federais (IFs) permitiu a interiorização da educação pública de qualidade, levando infraestrutura educacional a regiões anteriormente desassistidas. Essa política pública contribuiu para a democratização do acesso à educação superior, especialmente nas áreas de ciência, tecnologia e inovação.

A Lei n. 13.243, de 11 de janeiro de 2016, dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. Em seu artigo 19, estabelece que a União, os Estados, o

Distrito Federal, os Municípios, as Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs) e suas agências de fomento deverão promover e incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de produtos e de processos inovadores sem fins lucrativos, por meio da concessão de recursos financeiros, humanos, materiais ou de infraestrutura. Esses apoios devem ser formalizados em instrumentos específicos, voltados para o atendimento das prioridades das políticas industrial e tecnológica nacionais (Brasil, 2016).

Complementarmente, a Resolução CNE/CES n. 2, de 24 de abril de 2019, instituiu as Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de graduação em Engenharia (DCNs de Engenharia), a serem seguidas pelas Instituições de Educação Superior (IES). O perfil do egresso definido pela norma exige formação técnica sólida, aliada a uma visão holística, crítica, reflexiva, cooperativa, criativa, ética e humanista. O profissional deve ser capaz de pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias com atuação inovadora e empreendedora. Conforme prevê o artigo 6º, inciso VIII, §§ 1º e 2º da Resolução supracitada, é obrigatória a realização de atividades de laboratório, tanto para o desenvolvimento das competências gerais quanto das específicas, com intensidade compatível com a habilitação ou ênfase do curso. Ademais, devem ser estimuladas atividades que integrem teoria, prática e contexto de aplicação, incluindo ações de extensão e a articulação entre empresa e escola (Brasil, 2019).

As instituições públicas de ensino superior, em especial as estaduais e federais, frequentemente enfrentam deficiências em infraestrutura, sobretudo no que se refere aos laboratórios relacionados aos cursos de Engenharia. Esses cursos apresentam PPC extensos, com disciplinas básicas comuns e componentes específicos que qualificam os discentes para atuar em áreas técnicas especializadas. No entanto, nem todas as instituições brasileiras que ofertam cursos de engenharia dispõem de infraestrutura adequada para a execução das atividades práticas exigidas pelas disciplinas específicas. Essa limitação é ainda mais acentuada em instituições localizadas em regiões periféricas ou afastadas dos grandes centros urbanos.

Esses laboratórios didáticos direcionados ao ensino de engenharia demandam equipamentos de elevado custo, cuja aquisição varia conforme o curso e as especificações técnicas exigidas. Além disso, é imprescindível contar com profissionais qualificados para a operação desses instrumentos, bem como dispor de suporte técnico para sua manutenção.

Entre os equipamentos frequentemente utilizados, destacam-se: o viscosímetro tipo *Brookfield* (faixa de R\$ 6.000,00 a R\$ 25.000,00), o calorímetro de laboratório

(entre R\$ 8.000,00 e R\$ 50.000,00) e o analisador de fluxo de gases (variando de R\$ 15.000,00 a R\$ 100.000,00). Embora o mercado ofereça uma ampla gama de dispositivos didáticos, a estruturação de um laboratório funcional requer a integração de diversos equipamentos, a fim de viabilizar a realização de experimentos essenciais para a formação tecnológica dos estudantes.

Assim, o presente estudo tem como objetivo contextualizar os desafios enfrentados pelas instituições públicas de ensino superior relacionados à carência de infraestrutura laboratorial nos cursos de Engenharia. Para isso, realiza-se uma revisão bibliométrica da produção científica e tecnológica voltada para o desenvolvimento de unidades didáticas aplicadas ao contexto laboratorial das Engenharias, com ênfase em soluções de baixo custo.

2 Metodologia

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa de natureza exploratória, com foco na prospecção tecnológica e científica de documentos relacionados ao uso de unidades didáticas no ensino de Engenharia Química. Para esse fim, foram utilizadas duas vertentes de fontes informacionais: a base Orbit Intelligence, reconhecida internacionalmente pela amplitude e sofisticação de suas ferramentas relacionadas à análise de propriedade intelectual; e as bases Google Acadêmico, Web of Science e Scopus, voltadas para a literatura científica e acadêmica.

A estratégia de prospecção patentária foi elaborada com o auxílio da ferramenta Sofia, nativa da plataforma Orbit, a qual possibilita a formulação automatizada de *strings* estruturadas a partir da combinação de descritores técnicos e temáticos previamente definidos. O termo “patente” foi empregado em sentido amplo, abrangendo tanto pedidos depositados quanto documentos concedidos, independentemente do *status* jurídico. As patentes recuperadas foram organizadas, analisadas e classificadas segundo critérios de aplicabilidade prática, integração com tecnologias educacionais (inteligência artificial, simulações e modelagem computacional) e potencial de uso em ambientes de ensino de Engenharia Química. Adicionalmente, foram avaliados aspectos de inovação incremental e radical, bem como identificada a presença de soluções referentes à sustentabilidade e à acessibilidade em contextos educacionais. A busca por artigos científicos considerou, no caso do Google Acadêmico, apenas documentos do tipo artigos científicos, Trabalhos de

Conclusão de Curso (TCCs), dissertações e teses. O recorte temporal aplicado teve como marco inicial o ano de 2009, logo após a promulgação da Lei n. 11.892/2008, que criou os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFs), instituições que têm como missão a formação científica e tecnológica em cursos técnicos, tecnológicos e superiores. Para as bases Web of Science e Scopus, não foi aplicada restrição temporal, conforme apresenta-se na Figura 1.

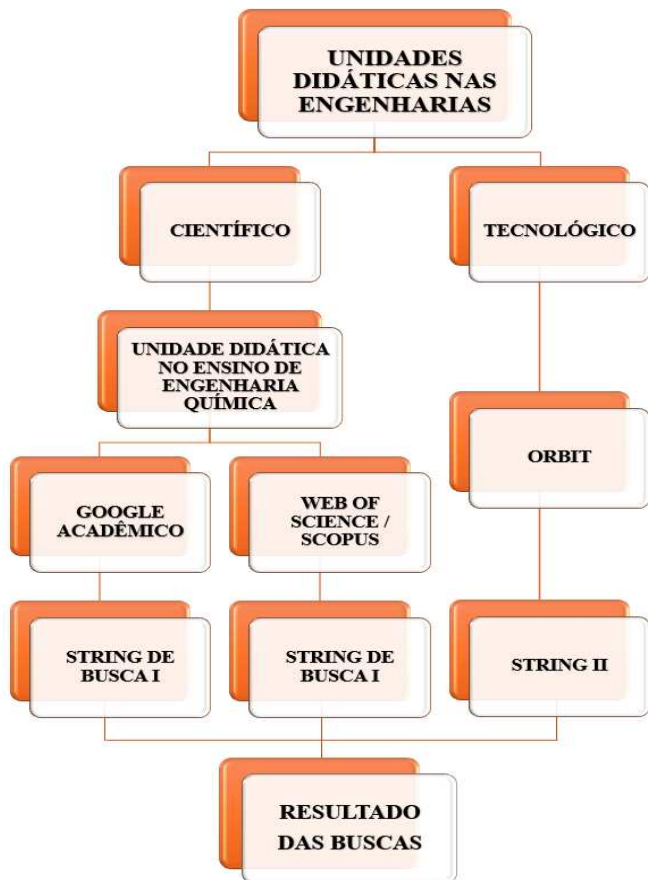
Na vertente científica, a busca foi realizada nas bases Google Acadêmico, Web of Science e Scopus, por meio da aplicação da seguinte *string* de busca:

((“UNIDADE DIDÁTICA” OR “UNIDADE DE ENSINO” OR “UNIDADE DE APRENDIZAGEM”) AND (“ENGENHARIA QUÍMICA”) AND (“ENSINO” OR “EDUCAÇÃO” OR “CURSO” OR “FORMAÇÃO” OR “HIGHER EDUCATION” OR “UNIVERSITY” OR “UNDERGRADUATE”)) OR ((“DIDACTIC UNIT” OR “TEACHING UNIT” OR “LEARNING UNIT”) AND (“CHEMICAL ENGINEERING”) AND (“TEACHING” OR “EDUCATION” OR “COURSE” OR “TRAINING” OR “HIGHER EDUCATION” OR “UNIVERSITY” OR “UNDERGRADUATE”)).

Na vertente tecnológica, a prospecção foi conduzida na base Orbit Intelligence, reconhecida por sua abrangência e precisão na análise de documentos de propriedade intelectual. A elaboração da estratégia de busca foi realizada por meio da ferramenta Sofia, nativa da plataforma, que permite a geração automatizada de *strings* estruturadas com base em descritores técnicos previamente definidos. A *string* tecnológica utilizada foi a seguinte:

((UNIDADE 3W DIDÁTICA) OR (DIDACTIC 3W UNIT) OR (DIDACTIC 3W MODULE) OR (TEACHING 3W UNIT) OR (EDUCATIONAL 3W MODULE) OR (INSTRUCTIONAL 3W UNIT) OR (LEARNING 3W MODULE) OR (TRAINING 3W MODULE) OR (COURSE 3W MATERIAL) OR (EDUCATIONAL 3W RESOURCE) OR (TEACHING 3W MATERIAL) OR (INSTRUCTIONAL 3W MATERIAL))/TI/AB/CLMS/SA AND (ENGENHARIA OR ENGINEERING OR (ENGINEERING 3W COURSE) OR (ENGINEERING 3W EDUCATION) OR (TECHNICAL 3W EDUCATION) OR (ENGINEERING 3W TRAINING) OR (ENGINEERING 3W CURRICULUM))/TI/AB/CLMS/SA AND (G09B OR G06F OR G16H)/IPC.

Figura 1 – Fluxograma da estratégia de busca científica e tecnológica sobre unidades didáticas em engenharia



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025)

3 Resultados e Discussão

A indústria química emergiu das necessidades humanas relacionadas à preservação da vida, inicialmente por meio do domínio empírico de processos como combustão, metalurgia, curtimento de couros, fermentação e obtenção de medicamentos naturais, consolidando-se como setor industrial moderno apenas no século XIX (Almeida; Pinto, 2011; Sapunaru; Macedo, 2016; Wongtschowski, 2002). Seu desenvolvimento decorreu da articulação entre descobertas laboratoriais – Química – e escalonamento produtivo – Engenharia Química, com vertentes alemã, baseada na química do carvão, e norte-americana, centrada na química do petróleo e produção contínua (Wongtschowski, 2002; Demajorovic, 2000).

A institucionalização da Engenharia Química ocorreu no início do século XX, com o curso do Massachusetts Institute of Technology (MIT) em 1912, diferenciando abordagens e fundamentos próprios para o desenvolvimento industrial, enquanto os EUA assumiam a liderança global pós-Segunda Guerra Mundial, impulsionados por avanços

como o craqueamento catalítico e expressivos investimentos em P&D (Wongtschowski, 2002; Demajorovic, 2000).

No Brasil, a Engenharia teve início formal no período colonial e expandiu-se a partir do século XX, com destaque para a criação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em 1950, reconhecido pela excelência acadêmica e pela introdução de um modelo pedagógico inovador no ensino de engenharia. Esse movimento coincidiu com o aumento expressivo de cursos de engenharia, especialmente de Engenharia Química, cujo desenvolvimento acompanha a instalação de empresas químicas estratégicas e a evolução industrial nacional. (Almeida; Pinto, 2011; Sapunaru; Macedo, 2016; Silva; Santos; Afonso, 2006).

A automação e o controle de processos desempenham papel estratégico na Engenharia Química, promovendo eficiência, segurança e sustentabilidade por meio de sensores inteligentes, CLPs, SCADA, Inteligência Artificial e Internet das Coisas, permitindo monitoramento em tempo real e análise preditiva de falhas. Tecnologias como Gêmeos Digitais possibilitam simulação, otimização e redução de perdas, integrando-se aos princípios da Indústria 4.0 para responder a variabilidades de matéria-prima, demandas flutuantes e exigências regulatórias, alinhando a formação de engenheiros químicos à produção limpa e resiliente (Sajadieh; Noh, 2025; Zhang *et al.*, 2024; Min *et al.*, 2019; Raven *et al.*, 2024).

Entretanto, a formação em engenharia química no Brasil enfrenta limitações estruturais. Entre 2007 e 2013, apenas 65,12% das universidades federais cumpriram parcialmente metas de infraestrutura, mesmo com o aumento de matrículas de 140 mil para 243 mil. O crescimento não foi acompanhado de investimentos proporcionais em laboratórios e infraestrutura básica, agravado por crises orçamentárias que reduziram R\$ 84,5 bilhões em recursos, comprometendo financiamentos e bolsas de pesquisa (Brasil, 2018; Paula; Martin, 2019). Essa precariedade compromete competências essenciais para demandas em modelagem de processos, sustentabilidade, energias renováveis e tecnologias limpas (Arastoopour, 2019; INEP, 2017; Carvalho, 2023; Zhang *et al.*, 2024). Nesse cenário, unidades didáticas experimentais, dispositivos de baixo custo e ferramentas digitais de simulação e inteligência artificial despontam como alternativas viáveis, enquanto a prospecção tecnológica por patentes orienta tendências e estratégias educacionais alinhadas à realidade brasileira, fortalecendo políticas de inovação e soberania científica (Paula; Martin, 2019).

A relevância da prospecção tecnológica é evidenciada pelos dados da Tabela 1, que consolidam informações obtidas em quatro bases de dados. Na base Orbit, foram identificados 3.840 depósitos de patentes, dos quais 2.986 estão ativos e 854 inativos, todos voltados para a educação em engenharia.

No âmbito científico, o Google Acadêmico recuperou 18 publicações, enquanto Web of Science e Scopus apresentaram seis registros cada, todos relacionados a unidades didáticas na Engenharia Química.

Esses resultados destacam a importância de utilizar múltiplas plataformas de busca, permitindo uma visão abrangente das tendências tecnológicas e científicas para o desenvolvimento de soluções educacionais. Entre as patentes ativas, observa-se aplicação de unidades didáticas em diversas áreas da engenharia, incluindo computação, civil, elétrica, mecânica, aeroespacial, de materiais, petróleo, transportes, ambiental e segurança. Contudo, apenas uma patente ativa e uma inativa foram especificamente direcionadas à Engenharia Química, evidenciando a escassez de soluções tecnológicas estruturadas para este campo.

Tabela 1 – Distribuição da produção técnica e científica identificada em bases de dados de patentes e artigos (n = 3840 patentes; n = 30 artigos)

BASE DE DADOS	PATENTES	ARTIGOS DE PERIÓDICOS
Web of Science	0	6
Scopus	0	6
Google Acadêmico	0	18
Orbit	3.840	0

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025)

Na Figura 2, observa-se o mapa de distribuição geográfica dos depósitos de patentes relacionados a tecnologias voltadas para unidades didáticas aplicadas ao ensino de engenharia, com dados extraídos da base Orbit. A escala de tonalidade em azul indica a quantidade de registros por país, sendo que áreas em cinza representam ausência de dados. A China se destaca como o principal depositante, com até 2.742 registros, evidenciando sua expressiva atuação em inovação tecnológica com potencial impacto na educação superior em engenharia.

Observa-se uma concentração geográfica significativa, refletindo uma assimetria no desenvolvimento e na proteção de inovações educacionais. A Índia contabiliza 133 registros, seguida pelos Estados Unidos com 111. Na América do Sul, a Colômbia lidera com 4 depósitos, enquanto o Brasil apresenta apenas dois. Esse baixo número de registros em países latino-americanos pode

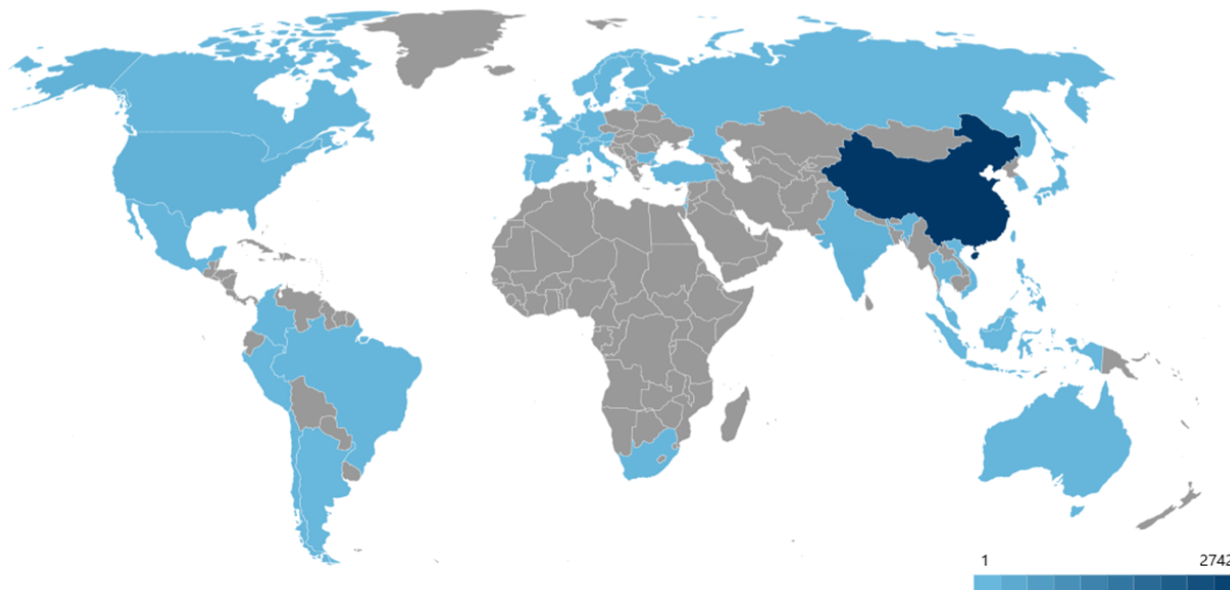
estar associado à limitação de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), à escassez de infraestrutura e à ausência de políticas robustas de incentivo à proteção da propriedade intelectual. A análise geoespacial dos depósitos de patentes é uma ferramenta estratégica para compreender as dinâmicas globais da inovação educacional em engenharia, subsidiando o planejamento de políticas públicas, o estímulo a colaborações internacionais e o desenvolvimento de soluções didáticas acessíveis e eficazes.

Na Figura 3(a), às organizações com maior número de depósitos possuem um predomínio de instituições chinesas, com destaque para universidades e corporações estatais, como a State Grid Corporation of China (SGCC) e a Zhejiang University, indicando uma política nacional robusta de incentivo à propriedade intelectual e à aplicação de tecnologias educacionais. A concentração geográfica e institucional também aponta para um possível alinhamento estratégico entre universidades, governo e setor produtivo na China, o que fortalece o ecossistema de inovação tecnológica voltado à educação.

Na Figura 3(b), a análise dos dados apresentados revela uma tendência crescente e significativa no depósito de patentes relacionadas a unidades didáticas aplicadas à engenharia, especialmente a partir de 2018, com um crescimento exponencial notável entre 2021 e 2024. Essa evolução temporal sugere uma intensificação global do interesse por soluções educacionais tecnológicas e metodológicas voltadas para o ensino de engenharia, refletindo os avanços em plataformas abertas, metodologias ativas e demandas por inovação no ensino superior. Do ponto de vista cognitivo, esse cenário pode ser interpretado como reflexo das transformações nos paradigmas educacionais contemporâneos, nos quais o papel do aluno como agente ativo da aprendizagem exige novas abordagens didáticas, muitas vezes mediadas por unidades didáticas, dispositivos e plataformas tecnológicas. As patentes nesse domínio, portanto, não apenas registram inovações técnicas, mas também traduzem concepções pedagógicas emergentes – como a aprendizagem baseada em problemas, projetos e experimentação.

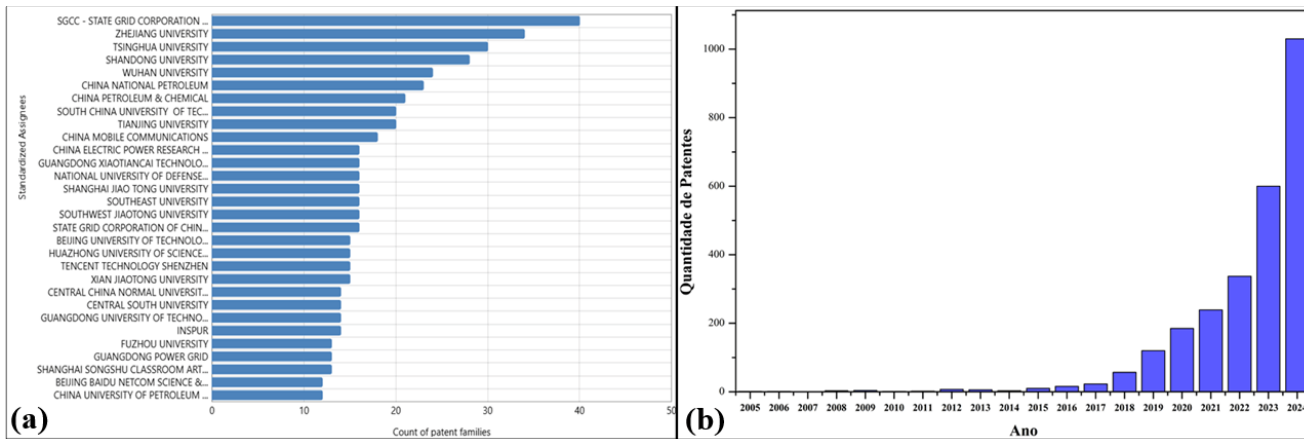
Em síntese, os dados evidenciam que o campo das unidades didáticas em engenharia não é apenas um espaço de desenvolvimento educacional, mas também de disputa tecnológica e econômica, em que a capacidade de inovar e proteger soluções educacionais se torna um diferencial estratégico para instituições e países que desejam liderar a educação do futuro.

Figura 2 – Panorama mundial da proteção intelectual em unidades didáticas voltadas para a engenharia, (n = 2.986)



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025)

Figura 3 – Panorama das patentes relacionadas a unidades didáticas aplicadas à engenharia: (a) Contribuições por organização, (n = 2986); (b) Evolução temporal (2005-2024)

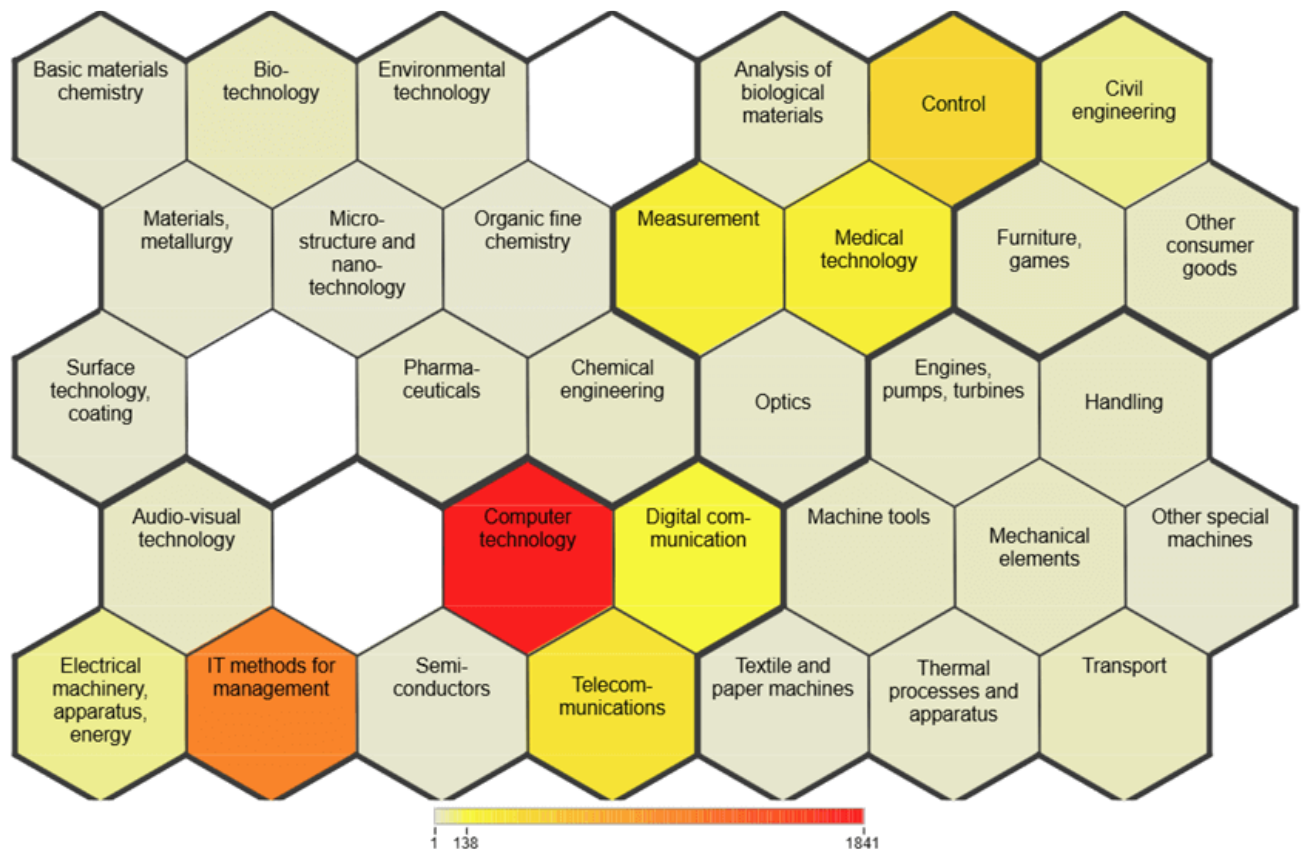


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025)

A Figura 4 apresenta um mapa tecnológico por domínio técnico, estruturado em células hexagonais, com base na classificação de patentes segundo os campos tecnológicos definidos pela WIPO – *Technology Concordance*. As áreas são organizadas conforme a densidade de depósitos, variando do vermelho (alta concentração) ao cinza claro (baixa concentração), conforme escala na parte inferior. Destacam-se os domínios com maior intensidade de atividade tecnológica, como *Computer Technology*, *IT Methods for Management* e *Digital Communication*, evidenciados em tons de vermelho e laranja, indicando elevada concentração de inovações e possível centralidade nas estratégias educacionais baseadas em tecnologias

digitais. Outras áreas com expressiva atividade incluem *Medical Technology*, *Control e Measurement*, relacionadas à automação, instrumentação e simulação médica. Também se observam níveis relevantes de depósitos em *Electrical Machinery*, *Apparatus*, *Energy*, *Telecommunications* e *Semiconductors*, sugerindo uma forte presença de tecnologias eletrônicas e computacionais nos ambientes de ensino técnico. Em contrapartida, domínios como *Environmental Technology*, *Organic Fine Chemistry* e *Biotechnology* apresentam baixa densidade de registros, o que pode representar oportunidades para a ampliação de aplicações educacionais nessas áreas específicas.

Figura 4 – Distribuição da intensidade tecnológica por domínios técnicos aplicados à educação em engenharia, (n = 2986)



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025)

Na Tabela 2, as patentes analisadas apresentam soluções educacionais baseadas em tecnologias digitais, com ênfase em automação e controle aplicados ao processo de aprendizagem técnico-científica. A patente CN113935871A (ativa) descreve um sistema didático composto de cinco módulos interligados, projetado para transformar conteúdos escritos em experiências de aprendizado animadas e visuais.

O primeiro módulo converte o material textual em animações estruturadas, sendo as grandes equivalentes a capítulos, as ramificadas a subseções e as detalhadas e pontos de conhecimento, permitindo acesso direto à página de exercícios correspondente. O segundo módulo utiliza inteligência educacional para destacar automaticamente conteúdos prioritários, direcionando o estudo. O terceiro módulo gera mapas mentais tridimensionais e avalia o progresso do aluno com base na interação com a interface. O quarto módulo envolve exercícios e questões reais, registrando taxas de acerto, exibindo barras de progresso e incorporando automaticamente questões incorretas ao plano de revisão. O quinto módulo apresenta a classificação do aluno e recomenda exercícios para reforço de áreas de desempenho insuficiente.

A patente CN115035753B (inativa) propõe igualmente um sistema de cinco módulos interligados voltados ao ensino dos princípios de Engenharia Química, estruturado em sala de aula virtual na nuvem e assistido por um **chatbot**. A progressão ocorre mediante aprovação em testes avaliativos, garantindo a consolidação do conhecimento em cada etapa. Os módulos incluem: fundamentos teóricos com banco de questões; ética profissional e contribuições de personagens notáveis; experimentos de simulação virtual com registro de aprendizado via algoritmos de **big data**; experimentos laboratoriais presenciais acompanhados da elaboração de relatório técnico; e simulações de **design** de equipamentos, fabricação de produtos químicos e práticas de segurança operacional. Ambas as patentes apresentam elevado potencial de aplicação em instituições de ensino superior brasileiras, podendo ser adaptadas ao contexto e aos objetivos da formação em Engenharia Química. Considerando que as IES já dispõem de ambientes virtuais de aprendizagem, tais sistemas poderiam ser implementados como plataformas próprias ou integradas, promovendo experiências de pedagogia ativa, interação com conteúdos centrais da área e mitigando limitações de infraestrutura.

Na Tabela 3, observa-se uma diversidade metodológica nas abordagens didáticas aplicadas ao ensino de Engenharia Química e áreas afins, evidenciando esforços em alinhar a formação acadêmica às demandas contemporâneas da educação científica. No estudo de Delgado e Fonseca-Mora (2010), por exemplo, é apresentada uma unidade didática centrada no ensino de operações unitárias, cuja contribuição recai sobre o desenvolvimento conceitual e prático por meio de atividades didáticas aplicadas.

No entanto, a proposta permanece circunscrita ao nível manual das operações, sem abordar elementos centrais da instrumentação moderna, como sensores, atuadores ou sistemas de controle automatizado, o que limita sua aderência aos requisitos formativos impostos pela indústria 4.0.

Por outro lado, o trabalho de Battisti *et al.* (2019) se destaca pela abordagem prática e tecnologicamente avançada, ao propor a construção de experimentos didáticos com integração direta de automação e controle de processos. Os estudantes desenvolvem protótipos de um trocador de calor, uma torre de umidificação e um secador de bandejas, implementando sensores, microcontroladores (Arduino) e estratégias de controle em malha fechada. Essas aplicações envolvem o monitoramento e a manipulação de variáveis como vazão, temperatura, umidade e perda de massa, promovendo uma vivência educacional alinhada com os pressupostos técnicos da instrumentação industrial. Tal proposta contribui não apenas para a compreensão dos fenômenos físico-químicos envolvidos, mas também para o desenvolvimento de competências em automação, lógica de controle e integração de sistemas, fundamentais à atuação do engenheiro químico contemporâneo.

Outros estudos, como os de Silveira (2022), Mugica (2022) e Neto (2022), expandem o escopo das unidades didáticas ao abordar, respectivamente, a modelagem

e simulação de processos industriais, a utilização de espectrofotometria em contextos acessíveis e a educação ambiental baseada na abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente).

Apesar de relevantes em suas propostas pedagógicas, esses trabalhos ainda não incorporam de forma estruturada os recursos tecnológicos voltados ao controle de processos, evidenciando uma lacuna na integração entre ensino técnico e tecnologias emergentes. O conjunto dos estudos, portanto, reforça a importância das unidades didáticas como ferramentas de aprendizagem ativa e significativa, mas também revela a necessidade de ampliar sua complexidade técnica, incorporando soluções baseadas em automação, simulação avançada e inteligência computacional, de modo a preparar os futuros engenheiros químicos para os desafios impostos pela digitalização, sustentabilidade e transição tecnológica da indústria.

A análise combinada de patentes e artigos científicos evidencia avanços e lacunas no desenvolvimento de unidades didáticas para Engenharia Química. As patentes CN113935871A e CN115035753B apresentam sistemas estruturados em cinco módulos interligados, incorporando simulação virtual, inteligência educacional, avaliação automatizada e experimentos laboratoriais, promovendo aprendizagem ativa e interação com conteúdos centrais, embora exijam adaptações ao contexto brasileiro.

Nos artigos, estudos como Delgado e Fonseca-Mora (2010) oferecem unidades didáticas focadas em operações unitárias, mas limitadas ao nível manual e sem integração de instrumentação moderna ou controle automatizado. Em contraste, Battisti *et al.* (2019) avançam significativamente, ao combinar sensores, microcontroladores e controle em malha fechada, desenvolvendo competências técnicas alinhadas à indústria 4.0.

Tabela 2 – Patentes relacionadas a unidade didática aplicadas ao ensino de Engenharia Química

REGISTRO DE PATENTES	TÍTULO	DESCRIÇÃO
CN115035753	Teaching system based on chemical engineering principle experiment course	Sistema modular de ensino integrando teoria, simulação virtual e experimentação prática para princípios de Engenharia Química, com avaliações em cada módulo.
CN113935871	BIM live-action simulation+3D progress thinking guide diagram-based constructor examination learning system	Sistema de aprendizagem baseado em simulações, utilizando BIM e mapas mentais 3D, com módulos interativos compostos por animações e exercícios.

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025)

Tabela 3 – Os artigos sobre unidade didática voltadas para a engenharia química, 2009-2025

TÍTULO	AUTOR	ÁREA	DESCRIÇÃO
The use of co-operative work and rubrics to develop competences	Delgado, M. A.; Fonseca-Mora, M. C. (2010)	Engenharia Química	Discute a aplicação de unidade didática em Engenharia Química, visando desenvolver competências em operações unitárias.
Students bulding didactic experiments as a tool for teaching unit operations and process control for chemistry technicians	Battisti, R. <i>et al.</i> (2019)	Engenharia Química	Propõe a construção de experimentos didáticos em trocadores de calor, adsorção, umidificação e secagem.
Estudo de Modelagem e Simulação da planta didática MTX-Lab	Silveira, L. A. (2022)	Engenharias	Apresenta uma planta didática voltada à modelagem e simulação de processos.
Photometrixpro®: Uma alternativa para práticas espectrofotométricas no ensino de bioquímica	Mugica, P. M. (2022)	Bioquímica	Auxilia na compreensão de conteúdos de Bioquímica.
Uma proposta de Unidade Didática Multiestratégica para ensinar sobre poluição e recuperação de metais pesados no ensino de química ambiental na perspectiva da ciência-tecnologia-sociedade-ambiente	Neto, G. S. P. (2022)	Química Ambiental	Propõe uma unidade didática multiestratégica para ensino sobre poluição e recuperação de metais pesados na Química Ambiental.

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025)

Outras pesquisas (Silveira, 2022; Mugica, 2022; Neto, 2022) expandem o escopo ao incluir modelagem, simulação e educação ambiental, porém sem sistematizar automação e controle de processos. O conjunto evidencia que, apesar de iniciativas isoladas apresentarem relevância pedagógica e tecnológica, a baixa quantidade de patentes específicas e a dispersão metodológica nos artigos revelam lacunas na consolidação de soluções inovadoras, indicando a necessidade de unidades didáticas integradas, capazes de preparar engenheiros químicos para os desafios da digitalização, sustentabilidade e complexidade técnica contemporânea.

4 Considerações Finais

A análise dos dados científicos e tecnológicos revelou um cenário desigual no que se refere ao desenvolvimento de unidades temáticas aplicadas ao ensino da Engenharia Química. Apesar da relevância estratégica dessa área para o setor industrial, há uma carência significativa de materiais didáticos de baixo custo específicos, especialmente no contexto da educação pública. Os dados indicam que a maioria das inovações se concentra em áreas como robótica, computação e inteligência artificial, enquanto disciplinas tradicionalmente experimentais, como Química, permanecem marginalizadas.

A produção científica brasileira se destaca em termos de quantidade de publicações, mas carece de equivalência no número de depósitos de patentes. Isso evidencia um hiato entre o conhecimento acadêmico gerado e sua

transformação em soluções tecnológicas protegidas, aplicáveis no ensino. Apenas duas patentes chinesas – uma ativa e outra inativa – foram identificadas como diretamente relacionadas à Engenharia Química, revelando uma lacuna no desenvolvimento de materiais educacionais customizados para essa área.

Além disso, os dados mostraram forte concentração geográfica e institucional das patentes, com predominância de universidades e empresas chinesas. Esse padrão reflete políticas públicas robustas de incentivo à inovação tecnológica e à proteção da propriedade intelectual, diferentemente da realidade latino-americana.

A análise também apontou o uso crescente de tecnologias emergentes como BIM, simulações tridimensionais e inteligência artificial nos sistemas de ensino, sobretudo em propostas que favorecem o aprendizado ativo e personalizado. A integração dessas tecnologias às unidades didáticas representa um caminho promissor para superar as limitações estruturais de muitas instituições brasileiras, especialmente aquelas localizadas em regiões afastadas dos centros urbanos. O uso de plataformas abertas, dispositivos de baixo custo e métodos de ensino baseados em competências pode viabilizar experiências formativas significativas mesmo em ambientes com infraestrutura limitada.

Portanto, fomentar a produção de unidades didáticas de baixo custo, alinhados às novas diretrizes curriculares e à transformação digital, é uma medida estratégica para garantir equidade, inovação e qualidade na formação em Engenharia Química.

5 Perspectivas Futuras

A evolução das tecnologias educacionais tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas didáticos mais sofisticados, com destaque para simulações virtuais, realidade aumentada (RA) e realidade virtual (RV). Tais recursos viabilizam práticas experimentais em ambientes digitais, mitigando a carência de infraestrutura laboratorial em cursos de Engenharia Química. A simulação de processos industriais permite aos estudantes desenvolverem competências técnicas de forma segura e acessível.

Avanços recentes incluem a integração de Inteligência Artificial (IA) e aprendizado de máquina em plataformas educacionais, possibilitando sistemas adaptativos com personalização do ensino, feedback em tempo real e simulações realistas baseadas em gêmeos digitais. Essas tecnologias fortalecem a aprendizagem orientada por dados e a internalização de processos complexos.

Complementarmente, o uso de plataformas abertas como Raspberry Pi favorece a criação de unidades didáticas modulares, de baixo custo e alta replicabilidade. Essa convergência tecnológica amplia o acesso a práticas experimentais e fomenta ambientes de aprendizagem híbridos e sustentáveis, essenciais à formação contemporânea em Engenharia Química.

Referências

- ALMEIDA, Márcia R.; PINTO, Angelo C. Uma breve história da química Brasileira. **Ciência e Cultura**, v. 63, n. 1, p. 41-44, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252011000100015>.
- ARASTOPOUR, Hamid. The critical contribution of chemical engineering to a pathway to sustainability. **Chemical Engineering Science**, v. 203, p. 247-258, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.03.069>.
- BATTISTI, Rodrigo *et al.* Students building didactic experiments as a tool for teaching unit operations and process control for chemistry technicians. **Química Nova**, v. 42, p. 983-989, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170403>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/JWBBZq88mSRdpFCgw7zvDPQ/?lang=en>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 20 jun. 2025.
- BRASIL. Decreto n. 3.860, de 9 de julho de 2001. Dispõe sobre a organização do ensino superior, a avaliação de cursos e instituições, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, 10 jul. 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d3860.htm. Acesso em: 12 jul. 2025.
- BRASIL. Lei n. 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, 3 dez. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2004/lei/110.973.htm. Acesso em: 12 jul. 2025.
- BRASIL. Decreto n. 5.773, de 9 de maio de 2006. Dispõe sobre o exercício das funções de regulação, supervisão e avaliação de instituições de educação superior e cursos superiores de graduação e sequenciais no sistema federal de ensino. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, 10 maio 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5773.htm#art79. Acesso em: 12 jul. 2025.
- BRASIL. Lei n. 11.892, de 29 de dezembro de 2008. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, 30 dez. 2008. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111892.htm. Acesso em: 12 jul. 2025.
- BRASIL. Lei n. 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, 12 jan. 2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/113243.htm. Acesso em: 12 jul. 2025.
- BRASIL. Decreto n. 9.235, de 15 de dezembro de 2017. Dispõe sobre o exercício das funções de regulação, supervisão e avaliação das instituições de educação superior e dos cursos superiores de graduação e de pós-graduação no sistema federal de ensino. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, 18 dez. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9235.htm#art107. Acesso em: 12 jul. 2025.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. **Relatório anual de análise dos indicadores de gestão das instituições federais de educação profissional, científica e tecnológica: exercício 2018**. Brasília, DF: MEC/SETEC, 2018. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/julho-2019-pdf/117321-caderno-de-indicadores-2019-tcu/file>. Acesso em: 20 set. 2025.
- BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. Resolução CNE/CES n. 2, de 24 de abril de 2019. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Engenharia. **Diário Oficial da**

União, Brasília, DF, seção 1, 25 abr. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/resolucoes/resolucoes-cne-ces-2019>. Acesso em: 12 jul. 2025.

CARVALHO, Carolina Magalhães Wanderlei de. **Observatório da Educação da Capes: trajetória e contribuições enquanto política pública para formação associada à pesquisa**. 2023. 168p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Porto Alegre, 2023.

DELGADO, M. A.; FONSECA-MORA, M. Carmen. The use of co-operative work and rubrics to develop competences. **Education for Chemical Engineers**, v. 5, n. 3, p. e33-e39, 2010. DOI: <https://doi-org.ez52.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.ece.2010.05.002>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1749772810000060>. Acesso em: 10 jun. 2025.

DEMAJOROVIC, Jacques. **Sociedade de risco e responsabilidade socioambiental: perspectivas para a educação corporativa**. 2000. 270p. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

INEP – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES): instrumento de avaliação institucional externa presencial e a distância: recredenciamento e transformação de organização acadêmica**. Brasília, DF: Inep, 2017.

MIN, Qingfei *et al.* Machine learning based digital twin framework for production optimization in petrochemical industry. **International Journal of Information Management**, v. 49, p. 502-519, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.020>.

MUGICA, Pâmela Martins. **Photometrixpro®: uma alternativa para práticas espectrofotométricas no ensino de bioquímica**. 2022. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Pampa, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Uruguaiana, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/items/85f080e0-23ba-413b-a3f6-ef793b6353f4>. Acesso em: 11 jun. 2025.

NETO, Guilherme Salvador Peres. **Uma proposta de Unidade Didática Multiestratégica para ensinar sobre poluição e recuperação de metais pesados no ensino de química ambiental na perspectiva da ciência-tecnologia-sociedade-ambiente**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Química) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química de Araraquara, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/ecf2e69b-5b69-4494-a874-23e8b89af65c>. Acesso em: 22 jun. 2025.

PAULA, Camila Henriques; MARTIN, Débora Gonzaga. Os efeitos do reuni sobre a pós-graduação das universidades federais. **Ciência Dinâmica**, v. 10, n. 2, 2019. DOI: 10.4322/2176-6509.2022.006.

RAVEN, Douglas B. *et al.* Machine learning & conventional approaches to process control & optimization: Industrial applications & perspectives. **Computers & Chemical Engineering**, v. 189, p. 108789, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2024.108789>.

SAJADIEH, Seyed Mohammad Mehdi; NOH, Sang Do. From Simulation to Autonomy: Reviews of the Integration of Artificial Intelligence and Digital Twins. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, p. 1-32, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40684-025-00750-z>.

SAPUNARU, Raquel Anna; MACEDO, Geisla M. Uma breve história da engenharia e seu ensino no Brasil e no mundo: foco Minas Gerais. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v. 10, n. 1, p. 39-52, 2016. Disponível em: <https://seer.ucp.br/seer/index.php/REVCEC/article/view/594>. Acesso em: 10 jul. 2025.

SILVA, Aleandro P.; SANTOS, Nadja P. dos; AFONSO, Júlio C. A criação do curso de Engenharia Química na Escola Nacional de Química da Universidade do Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 881-888, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000400044>.

SILVEIRA, Lucas Aldrighi. **Estudo de modelagem e simulação da planta didática MTX-Lab**. 2022. p. 95. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/255320>. Acesso em: 16 jun. 2025.

UFMG – UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Departamento de Engenharia Química. **História**. [2025]. Disponível em: <https://www.deq.ufmg.br/departamento/Histria>. Acesso em: 12 jul. 2025.

WONGTSCHOWSKI, Pedro. **Indústria química: riscos e oportunidades**. 2. ed., ver. e ampl. São Paulo: Blucher, 2002.

ZHANG, Yanan *et al.* Promoting digital twin technology application for process industry: A novel generation modelling platform and its implementations. **Digital Twins and Applications**, v. 1, n. 1, p. 51-74, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1049/dgt2.12010>.

Sobre os Autores

José Carlos de Oliveira

E-mail: jdl_cba@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0144-7238>

Graduando de Engenharia Química pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Endereço profissional: Rua 28, quadra 141, casa 4, Pedra 90, Cuiabá, MT. CEP: 78099-140.

Katia Tames Lourenço

E-mail: ka_tabloon@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4677-4927>

Graduada de Medicina pela Universidade Federal de Mato Grosso em 2021.

Endereço profissional: Avenida Jabaquara, n. 2.781, Mirandópolis, SP. CEP: 04045-004.

Emanuelly Kamilly Korbes

E-mail: emanuely.korbes@sou.ufmt.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3746-3606>

Graduanda de Licenciatura em Química pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Endereço profissional: Rua oito, Boa Esperança, Cuiabá, MT. CEP: 78068-765.

Janio Alves Ribeiro

E-mail: janio.ribeiro@ufmt.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9916-8166>

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia em 2012.

Endereço profissional: Rua Quarenta e nove, n. 2.367, Boa Esperança, Cuiabá, MT. CEP: 79070-900.