



ENSINO E APRENDIZADO EM ENGENHARIA QUÍMICA: DESAFIOS E PERSPECTIVAS DE MODERNIZAÇÃO NA ERA DIGITAL

TEACHING AND LEARNING IN CHEMICAL ENGINEERING: CHALLENGES AND PROSPECTS OF
MODERNIZATION IN THE DIGITAL AGE

Moisés Teles dos Santos¹

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v42p70-91.2023

RESUMO: Este artigo apresenta reflexões baseadas em literatura interdisciplinar sobre o processo de modernização do ensino em Engenharia Química. Inicialmente, é destacado que o processo de modernização do ensino é sobretudo o ato ou resultado de uma ação no ambiente de ensino: a sala de aula (física ou virtual). São mencionadas as principais mudanças sociais causadas pela transformação digital e suas consequências para o espaço da sala de aula. São indicados, então, três eixos de modernização para que o processo de ensino-aprendizado contemple os desafios contemporâneos: conteúdo, forma e infraestrutura. Conteúdos técnicos e comportamentais são discutidos, destacando-se a importância da articulação de ambos para a formação de competências. Neste sentido, o papel do professor é rediscutido e é proposta uma adaptação da Taxonomia de Bloom para professores. É discutida ainda a importância dos conteúdos técnicos como vetores da inovação tecnológica, com exemplos acadêmicos e industriais de como as novas tecnologias estão sendo disseminadas em áreas de atuação do engenheiro químico. É reforçada a ideia de que o ensino ativo deve estimular a formação de estudantes conscientes de seus deveres sociais e institucionais. Como conclusão, recomenda-se que a pesquisa em Ensino de Engenharia Química deve ser ampliada no Brasil em torno de objetivos que tragam benefícios sociais amplos (energia, meio ambiente, saúde e educação).

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia Química; transformação digital; modernização; inovação; metodologias ativas; sala de aula.

ABSTRACT: This article brings reflections based on interdisciplinary literature on the process of modernization of teaching in chemical engineering. Initially, it is highlighted that the teaching modernization process is mainly the act or result of an action in the teaching environment: the classroom (physical or virtual). The main social changes caused by the digital transformation are mentioned, and their consequences for the classroom space. Next, 3 modernization axes are indicated so that the teaching-learning process can address contemporary challenges: content, form and infrastructure. Technical and behavioral contents are discussed, highlighting the importance of the articulation of both for the formation of competences. In this sense, the role of the teacher is re-discussed and an adaptation of Bloom's Taxonomy for teachers is proposed. The importance of technical content as vectors of the technological innovation is also discussed, with academic and industrial examples of how the new tools are being disseminated in the chemical engineer's areas of activity. The idea that active teaching should stimulate the formation of students who are aware of their social and institutional duties is reinforced as well. In conclusion, it is recommended that research in chemical engineering teaching should be expanded in Brazil around objectives that bring broad social benefits (energy, environment, health and education).

KEYWORDS: Chemical Engineering; digital transformation; modernization; innovation; active methodologies; classroom.

¹ Prof. Dr., Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP, moises.teles@usp.br



INTRODUÇÃO

Percebidas em sua forma mais ampla, as atividades de ensino superior devem ter como objetivo a formação de profissionais capazes de contribuir para o desenvolvimento humano e social. Com esse pressuposto, a ciência, a tecnologia e a inovação serviriam como instrumento (e não como um fim em si mesmo) para o alcance de tais objetivos. A Engenharia Química (EQ), com seu longo histórico de contribuições ao desenvolvimento industrial e tecnológico, deve, portanto, buscar e oferecer soluções aos desafios sociais contemporâneos.

A Engenharia Química não deve ser entendida como um conjunto estático de conhecimentos técnicos, mas como um conjunto dinâmico de conhecimentos interligados que devem evoluir de forma a dar respostas a novos desafios energéticos, ambientais, econômicos e de saúde que surgem na sociedade. Portanto, as atividades de ensino, pesquisa, inovação e extensão em EQ devem buscar um alinhamento contínuo com os grandes eixos de interesse social. Pode-se identificar três grandes eixos de desenvolvimento e aplicação dos conhecimentos de Engenharia Química: i) o ensino-aprendizagem das competências básicas; ii) a pesquisa e inovação (realizada em instituições e empresas públicas ou privadas); e iii) o exercício profissional nos diversos segmentos de atuação do engenheiro químico. Em comum nestes três eixos há o elemento central, origem e destino das atividades industriais: o ser humano (aluno e professor, orientador e orientado, colaboradores e líderes de empresas).

Portanto, a educação, aqui percebida como um processo contínuo de desenvolvimento de competências técnicas (*hard skills*) e habilidades comportamentais (*soft skills*), deve ser sempre repensada e modernizada, a fim de reduzir a distância entre as competências desenvolvidas e as necessidades sociais. Neste artigo são apresentadas as principais linhas de modernização que podem ser implementadas por um curso de Engenharia Química, tendo como base as mudanças paradigmáticas causadas pelas transformações da era digital.

ERA DIGITAL: MUDA-SE A SOCIEDADE, MUDAM-SE AS NECESSIDADES DO MERCADO DE TRABALHO

Uma enorme quantidade de dados digitais compartilhados em tempo real como suporte a sistemas autônomos de tomada de decisão, orientando o planejamento de produção para respostas rápidas a mudanças externas, reduzindo custos de produção e melhorando indicadores de segurança,



energéticos e ambientais, Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, Inteligência Artificial (IA), desenvolvimento de sistemas em robótica e impressão 3D, *advanced analytics* e *big data*. Esse é o cenário em que estão ocorrendo várias transformações no mercado de trabalho, nas comunicações, no comércio, na indústria, nos serviços, na saúde, na segurança, nas atividades de pesquisa e inovação, lazer e educação, configurando o que se convencionou chamar de Quarta Revolução Industrial, cujas consequências para o setor industrial acarretou a disseminação do termo Indústria 4.0 (TELES DOS SANTOS, 2017).

As transformações na indústria química são reflexo de um cenário ainda mais abrangente que caracteriza a chamada Indústria 4.0. A sociedade está passando por um processo de transformações do contexto econômico, social, político e cultural. Segundo Schwab (2007), as particularidades desse processo são: velocidade – transformações em ritmo não-linear (mundo interconectado); amplitude e profundidade – vários setores são afetados (negócios, produção, comunicação, transporte etc.); impacto sistêmico – transformação de sistemas inteiros (entre países e dentro deles), empresas e toda sociedade. Além disso, a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos e a produção humana aumentada pela potência aprimorada da cognição abre caminhos para novas rotas tecnológicas.

Portanto, a produção industrial – de forma geral – e a indústria química – em particular – estão sendo influenciadas por esse processo de transformações amplo e contínuo. Partindo do postulado de que o ensino em Engenharia Química deve formar profissionais aptos a atuar na sociedade, a leitura e interpretação dessas transformações e as consequentes adaptações dos cursos de Engenharia Química devem ser objeto de reflexão para uma eventual proposta de modernização dos cursos de graduação.

EIXOS DE MODERNIZAÇÃO

Modernizar o ensino é uma ação. Implica reflexão, discussão e elaboração de planos, mas é sobretudo o ato ou resultado de uma ação no ambiente de ensino: a sala de aula. Significa implementar mudanças que tornem o curso mais integrado ao que se entende por moderno ou contemporâneo. De acordo com a ideia de sociedade em transformação apresentada anteriormente, nenhuma modernização é possível sem antes uma identificação daquilo que precisa ser feito



para aproximar as práticas de ensino das competências desejáveis ao ambiente social. Com essa perspectiva, definem-se neste artigo três postulados:

- a) Postulado 1: é função do engenheiro químico o desenvolvimento, operação e melhoria de processos industriais eficientes, rentáveis, seguros e sustentáveis;
- b) Postulado 2: é função do curso de Engenharia Química formar recursos humanos aptos a atuar de forma ética e com competência técnica na sociedade;
- c) Postulado 3: é função de uma disciplina do curso de Engenharia Química aumentar o nível de conhecimentos técnicos do estudante em relação a um tema particular, ao mesmo tempo em que proporcione o desenvolvimento de habilidades comportamentais desejáveis a um bom profissional.

O objetivo de se definir esses três postulados é estabelecer um ponto de partida consensual que sirva como critério de análise sobre tudo o que é útil ou não a um processo de modernização. Os postulados, portanto, não podem ser questionados em si próprios e servem como denominador comum para toda discussão sobre se determinada mudança é adequada ou não a um curso de Engenharia Química. Destaca-se ainda que os postulados propostos estão de acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de Graduação em Engenharia (BRASIL, 2019).

Entende-se por *sociedade*, termo presente no Postulado 2, o conjunto de atores que exercem atividades que direta ou indiretamente influenciam o campo de atuação do engenheiro químico: empresas e instituições de pesquisa e ensino públicas e privadas, governo, profissionais e associações.

Neste artigo, são propostos três eixos independentes em que se podem desenvolver atividades de modernização do curso de Engenharia Química: conteúdo, forma e infraestrutura.

Conteúdo

Os conteúdos das diversas atividades desenvolvidas ao longo do curso de graduação de Engenharia Química são de duas naturezas principais: dimensão técnica (*hard skills*) e dimensão não técnica (*soft skills*). Sobre a dimensão técnica, destacam-se os conhecimentos básicos e avançados em Reatores, Cinética e Catálise Química, Termodinâmica, Fenômenos de Transporte, Operações Unitárias, Modelagem, Simulação, Controle e Otimização de Processos, para citar algumas grandes áreas. O ensino e aprendizado dos conteúdos técnicos podem ser realizados por meio de atividades e em ambientes que proporcionem o

desenvolvimento de habilidades não técnicas, tais como criatividade, trabalho em equipe, comunicação, liderança e ética. A mobilização dos conhecimentos, habilidades, atitudes e valores no atendimento de demandas sociais caracteriza então a chamada competência. As novas Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de Engenharia, de 2019, destacam a importância do desenvolvimento de competências, diminuindo o foco nos conteúdos. No entanto, conforme declaram De Angelo e Giansi (2019), está equivocado quem afirma, de pronto, que os conteúdos não mais importam. O que muda é que eles não mais devem dirigir o desenho curricular, mas se subordinarem ao desenvolvimento de competências que se espera que os egressos adquiram. A importância da dimensão técnica do aprendizado para o processo de inovação tecnológica deve sempre ser destacada no processo de formação dos estudantes, pois o avanço em diversas áreas do conhecimento depende do domínio dos fundamentos técnicos. As próprias Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de Graduação em Engenharia, em seu Art. 3º, inciso I, apontam a “forte formação técnica” como característica do perfil do egresso do curso de graduação em Engenharia (BRASIL, 2019).

A Figura 1 ilustra como essas dimensões podem ser articuladas de forma a representar um modelo de ensino que desenvolva simultaneamente as chamadas *hard* e *soft skills*.

Figura 1 – Dimensão não-técnica do ensino-aprendizado articulada com a dimensão técnica



Fonte: acervo do autor.



No esquema ilustrado na Figura 1, destaca-se o papel central que a dimensão técnica deve manter, de forma a proporcionar os conhecimentos e competências particulares do engenheiro químico, de acordo com os Postulados 1 e 2.

Hard Skills: dimensão técnica

Os conhecimentos técnicos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Química se agrupam normalmente em dois grandes blocos: i) Ciclo Básico, formado por cursos nas áreas de Cálculo, Estatística, Física, Química, Biologia e Computação; e ii) Ciclo Profissional, voltado a temas relacionados à Termodinâmica, Fenômenos de Transporte, Reatores, Cinética e Catálise Química, Operações Unitárias, Modelagem, Simulação, Controle e Otimização de Processos.

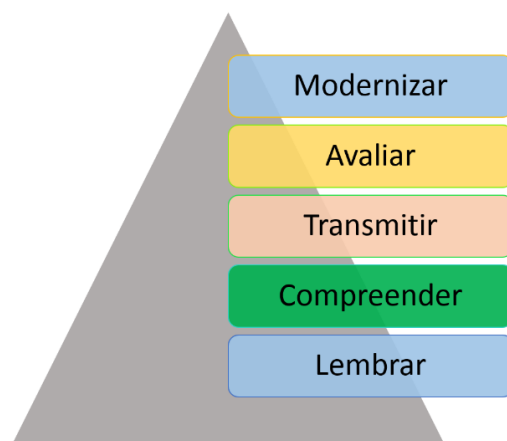
Neste aspecto (conteúdo), modernizar significa acrescentar ao curso temas emergentes e que estão alinhados com temas contemporâneos. Entre esses temas, destacam-se Intensificação de Processos, Energias Renováveis, *Modular Design*, Captura e Uso de CO₂, Químicos Renováveis, Engenharia de Sistemas Biológicos, Sistemas Cyber-físicos, Desenvolvimento de Produtos, Ciência e Modelagem de Dados entre outros.

No desenvolvimento do processo de ensino do conteúdo técnico, deve-se buscar os níveis mais elevados da Taxonomia de Bloom (BLOOM, 1956): *Lembrar, Compreender, Aplicar, Analisar, Avaliar e Criar*. Para isso, o papel do professor ganha ainda mais relevância, na medida em que o professor deve atuar não só como mediador de atividades que integrem as diferentes dimensões, mas deve partir dele a identificação dos pontos de melhoria (modernização) em seu curso. Além disso, conforme destacado por Tonini e Andrade (2019), uma certa competência é exigida para julgar a competência de alguém. Como um professor pode desenvolver nos alunos habilidades de comunicação, empatia, diálogo, resolução de conflitos e cooperação se ele próprio apresentar deficiências em tais áreas? Dessa forma, o professor deve fazer inicialmente uma autoavaliação sobre seu nível de desenvolvimento em certas competências, seu nível de conhecimentos em metodologias e ferramentas de ensino para – uma vez identificadas eventuais deficiências – realizar cursos ou estudos para formação continuada e aperfeiçoamento didático.

A Figura 2 apresenta uma adaptação da taxonomia de Bloom para o professor, proposta neste artigo.



Figura 2 – Taxonomia de Bloom para professores



Fonte: acervo do autor.

Nessa proposta de Taxonomia de Bloom para o professor, tem-se: *Lembrar* (o professor deve ser capaz de lembrar o conteúdo do curso); *Compreender* (o professor deve ser capaz de compreender o conteúdo do curso); *Transmitir* (o professor deve ser capaz de transmitir com critério e clareza o conteúdo, usando as mais variadas metodologias e ferramentas); *Avaliar* (o professor deve ser capaz de identificar pontos de melhoria em seu curso); e *Modernizar* (o professor deve ser capaz de agir em seu curso modificando-o de forma a integrar novas necessidades).

Algumas consequências dessa Taxonomia de Bloom proposta são:

- o professor pode ser capaz de *lembrar* e *compreender*, mas não de *transmitir*;
- o professor pode ser capaz de *lembrar*, *compreender* e *transmitir*, mas não de *avaliar* criticamente o seu curso de forma a identificar pontos de melhoria;
- o professor pode ser capaz de *lembrar*, *compreender*, *transmitir* e *avaliar*, mas não de *modernizar* o seu curso.

Nessa hierarquia de ações, não é possível *modernizar* um curso sem que haja, previamente, a avaliação e identificação de pontos de melhoria a servirem de objeto dessa modernização.

Outro aspecto a se destacar é a necessidade de sensibilizar os estudantes quanto à importância dos conhecimentos técnicos para sua formação. Estudantes de um curso de Operações Unitárias de Transferência de Massa, por exemplo, devem entender que o conteúdo técnico (métodos numéricos, modelagem multiestágio, taxas de transferência, equilíbrio, eficiência etc.) usado para o projeto de uma coluna de destilação pode também servir para o aprimoramento de suas



habilidades analíticas e numéricas, que serão úteis mesmo que nunca trabalhem com colunas de destilação. É papel do professor disseminar essa percepção entre os alunos, mantendo-os motivados e cientes da importância do curso qualquer que seja sua área de interesse ou atuação profissional futura. Afinal de contas, engenheiros (de qualquer especialidade) são normalmente desejados em processos de seleção para atuação em diversas áreas (por exemplo, financeiras e administrativas). A capacidade de resolver problemas complexos, habilidades numéricas, visão sistêmica e raciocínio analítico podem ser apontados como características do perfil do engenheiro que o habilitam a atuar em diversas áreas. Esse perfil é favorecido pelo conteúdo técnico.

As principais tendências de modernização no conteúdo de Engenharia Química e a importância das competências técnicas para a inovação tecnológica serão discutidas mais à frente neste artigo.

Soft Skills: dimensão não-técnica

De acordo com o Art. 3º, inciso I, das Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Engenharia, o perfil do egresso deverá, por característica, “ter visão holística e humanista, ser crítico, reflexivo, criativo, cooperativo e ético e com forte formação técnica” (BRASIL, 2019). Portanto, é estabelecida a necessidade de se acrescentar, à formação técnica, qualidades relacionadas ao modo de atuação e mobilização desses conhecimentos técnicos. É desejável, portanto, que o engenheiro químico possa desenvolver também atributos como responsabilidade, criatividade, espírito crítico e cidadania.

Assim como foi proposta neste artigo uma adaptação da Taxonomia de Bloom para o professor, postula-se também que o professor deve possuir ou procurar desenvolver certas atitudes que sirvam de estímulo ao desenvolvimento de *soft skills* nos alunos. Pontualidade, respeito a prazos, exigência de conduta ética em avaliações, qualidade na comunicação (oral, escrita, gráfica e imagética) compatível com o ensino superior, organização e planejamento de aula são algumas das competências de um professor que podem favorecer um ambiente de desenvolvimento comportamental nos estudantes. Em uma sociedade em que a disponibilidade de conteúdos técnicos digitais é quase ilimitada, torna-se ainda mais necessária a atuação do professor como modelo de boas condutas profissionais, humanas e interpessoais que desenvolvam nos alunos as características não técnicas desejadas pelas DCNs e pelo ambiente de trabalho.



Responsabilidade e cidadania

Conforme definido na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996) (BRASIL, 1996), a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) deve nortear os currículos dos sistemas e redes de ensino das Unidades Federativas, como também as propostas pedagógicas de todas as escolas públicas e privadas de Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio, em todo o Brasil. Na BNCC há menção sistemática à necessidade de se estimular o: “agir pessoal e coletivamente com respeito, autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação”, tomando-se ainda “decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários” (BRASIL, 1996).

Ou seja, há explícita a ideia de cidadania, tomada em seu sentido amplo: alguém que reconhece não só os seus direitos, mas seus deveres para com a sociedade. Portanto, a universidade deve funcionar também como ambiente em que o jovem deve assumir responsabilidades por seus atos e perceber que seus direitos são acompanhados de deveres. Alguns desses deveres são a frequência às aulas e trabalhos (presenciais ou remotos), a obediência aos regulamentos vigentes, a conduta ética em trabalhos e avaliações, a aceitação da pluralidade de ideias e tudo que reforçar seu compromisso para com a instituição que o acolhe e a sociedade de uma forma geral. Não deve buscar desenvolver apenas indivíduos cientes de seus direitos: deve-se buscar sobretudo o desenvolvimento de cidadãos (conscientes de seus direitos e deveres).

Forma

Existem atualmente diversas metodologias de ensino, documentadas em vasta literatura e sobre as quais o professor tem o dever, por ofício, de ter algum nível de conhecimento. Algumas das metodologias ativas de ensino abordadas por Filho et al. (2019) são: *Peer instruction* (Instrução pelos colegas), *Just-in-time teaching* (Ensino sob medida), *Think-pair-share* (Pense-discuta com um colega – compartilhe com o grande grupo), *In-class exercises* (Exercícios em sala de aula), Grupos com tarefas diferentes, *Thinking-aloud pair problem solving* (Resolução em voz alta de problemas em pares), *Co-op co-op*, *Constructive controversy* (Controvérsia construtiva), *Jigsaw* (Painel integrado), Desafios em grupos, Casos de ensino e *Problem-based Learning* (Aprendizagem baseada em problemas). Essas diferentes estratégias de ensino ativo são, segundo os autores, potencializadoras da sala de aula invertida (*Flipped Classroom*).



As diferentes formas de ensino ativo devem ser então selecionadas com critério de acordo com as necessidades, recursos e especificidades de cada disciplina e cada turma. Um denominador comum para avaliar se uma dada estratégia é adequada ou não é a verificação simples se ela contribui ou não com um dos postulados enunciados anteriormente.

Com o objetivo de envolver, motivar e tornar o ambiente de aprendizagem mais dinâmico, a chamada *gamificação* vem sendo discutida. *Gamificação* pode ser definida como o uso de elementos e princípios de jogos em contextos diferentes dos jogos (DICHEV; DICHEVA, 2017).

Feijoo, Crujeiras e Moreira (2018) apresentam dois estudos de caso em Engenharia Química usando o processo de *Gamestorming*: o *design* de um produto (caixas de madeira para garrafas de vinho), com o objetivo de se obter indicadores favoráveis de consumo de energia; e o *design* de um processo (remoção de poluentes de uma corrente gasosa). Os autores destacam no trabalho o potencial de estímulo ao pensamento crítico, as habilidades criativas para resolução de problemas e o reforço da autoconfiança e do trabalho em equipe para objetivos comuns. Destaca-se ainda o uso de ferramentas que simulam jogos em sala de aula em Engenharia Química em temas como controle de processos (RODRÍGUEZ et al. 2018), transferência de calor (DE LA FLOR ET al., 2020) e criação de um ambiente de realidade virtual (MONNOT et al., 2020).

A ferramenta Kahoot! tem sido usada nesse contexto. Essa ferramenta pode ser definida como um sistema GSRS (do inglês, *game-based student response system*) (WANG; THAIR, 2020) a partir do qual os estudantes interagem com o professor em tempo real em sala de aula, em um processo de perguntas e respostas que atribui scores à exatidão e tempo da resposta de cada aluno. Da experiência própria do autor, a ferramenta apresenta algumas vantagens no processo de aprendizado, tais como: i) maior participação, concentração e motivação dos estudantes em torno de um tema (pelo menos durante o período de uso da ferramenta); ii) possibilidade de revisão de aspectos conceituais já vistos em aula ou verificação do nível de aprendizado do material pré-aula no método de sala de aula invertida; iii) possibilidade de verificar de forma abrangente e em tempo real quais pontos estão sendo bem compreendidos pela turma e quais os erros mais comuns que precisam ser corrigidos; iv) *feedback* em tempo real para o aluno de seus erros e acertos. Além disso, em trabalho realizado em uma turma de Processos Químicos para Engenharia de Produção com 98 alunos, 78,6 % destes concordaram com a afirmação de que a competição estimulada pelo Kahoot! é "adequada, pois competição existe nos processos seletivos e no mundo real do mercado de



trabalho" (PALHARIM E TELES DOS SANTOS, 2021). Há também outros registros de que a ferramenta pode aumentar o interesse dos alunos, especialmente no ensino virtual (MARTÍN-SÓMER; MOREIRA; CASADO, 2021).

Recomenda-se, no entanto, que o uso de ferramentas e jogos digitais seja feito com método e fundamentação teórica com base na literatura especializada e sirva como ferramenta de apoio ao processo de aprendizado.

Como contraponto, porém, Goleman (2013) destaca que o foco direcionado, a atenção seletiva e a concentração em torno de um tema sem distrações são necessários para que a neuroplasticidade do cérebro desenvolva novas habilidades e melhore o desempenho da memória. Portanto, não se deve subestimar a importância da leitura tradicional (livros, texto, artigos etc.) no aperfeiçoamento dos conhecimentos técnicos na formação do aluno. Ainda nesse sentido, citando reflexões do filósofo Heidegger (HEIDEGGER, 1966), Goleman destaca que "conforme a educação migra para formatos baseados na web, cresce o perigo de que a massa multimídia de distrações que chamamos de internet prejudique a aprendizagem" (GOLEMAN, 2013, p. 25). O autor destaca ainda que "pensar profundamente exige manter a mente focada. Quanto mais distraídos estamos, mais superficiais são as nossas reflexões... quanto mais curtas as nossas reflexões, mais triviais elas tendem a ser" (GOLEMAN, 2013, p. 25).

Portanto, deve-se estimular a atenção focada e a capacidade de concentração dos alunos, até mesmo por questões de anatomia cerebral: sabe-se que as regiões do córtex pré-frontal são responsáveis pelo direcionamento do pensamento focado e da memória de longo prazo. Aprende-se melhor com a atenção focada. Portanto, nesse aspecto, também se destaca o papel central do professor na curadoria de conteúdos digitais, de forma que os alunos façam uso criterioso das diversas ferramentas e conteúdos digitais, favorecendo o aprendizado e não prejudicando o processo pela imensa quantidade de dados, plataformas e informações.

Infraestrutura

É necessária a criação de espaços que permitam atividades colaborativas, dinâmicas, centradas no aluno e com recursos tecnológicos (conexão com internet e recursos audiovisuais) compatíveis com as modernas ferramentas de interação aluno-professor-externos. Entende-se por externos palestrantes, profissionais de indústrias, professores ou mesmo alunos externos à disciplina em questão, que possam eventualmente colaborar com o curso.



No quesito infraestrutura, os recentes acontecimentos sanitários em escala mundial revelaram a necessidade de se dispor de múltiplas plataformas de interação aluno-professor (síncronas e assíncronas), fazendo com que o espaço de aprendizado e avaliação fosse repensado para além da sala de aula convencional.

Sala de aula virtual

A pandemia do vírus SARS-CoV-2 acelerou e ampliou o uso dos espaços virtuais, tais como *GoogleMeet*, *Zoom*, *Google Classroom*, *Whereby* e similares. Estas plataformas criam um espaço de interação com áudio, vídeo, compartilhamento de telas, arquivos e lousas digitais. No entanto, para que estes espaços não comprometam algumas habilidades desejadas na formação dos alunos, tais como capacidade de expressão oral e trabalho em equipe, deve-se incentivar que os alunos participem por meio de áudio e câmera. Alunos com dificuldades comportamentais tais como timidez excessiva, ansiedade, medo de falar em público e insegurança (todas elas prejudiciais a sua inserção profissional), podem ampliar essas dificuldades caso as aulas virtuais o coloquem em uma posição passiva de mero espectador diante de uma tela, de forma anônima, assistindo a aulas síncronas ou assíncronas que não exijam dele participação.

Realidade virtual

A realidade virtual tem sido cada vez mais usada pela indústria química no *design*, treinamento técnico e de segurança. Em alguns casos, a realidade virtual é combinada com técnicas de *gameificação* e visualização de realidade virtual. Empresas tradicionais da área, como BASF, Siemens e Dow, Petrobras, Solvay, e empresas do setor de energia (BASF, 2020; SIEMENS, 2021; PETROBRAS, 2020; FORD, 2020; GANJINEH, 2022) – para citar algumas – têm desenvolvido suas plataformas de realidade virtual e de realidade aumentada. Entre os benefícios dessas técnicas, é relatada uma melhoria da experiência de colaboradores ou clientes, em treinamentos e demonstrações de serviços, produtos ou processos.

Figura 3 – Uso de óculos de realidade virtual pelo Dr. Thies Pfeiffer, do Virtual Reality Lab do Cluster of Excellence Cognitive Interaction Technology (CITEC) da Universidade de Bielefeld



Fonte: (CHARMING, 2019).

Em relação ao ensino, a realidade virtual também representa um campo em crescimento. As iniciativas do projeto europeu *Charming* (CHARMING, 2019) – também descritas em Fracaro et al. (2021) – são um exemplo de como parcerias entre universidades e indústrias podem fomentar o desenvolvimento de novas ferramentas educacionais, levando a realidade virtual e aumentada para dentro da sala de aula, envolvendo estudantes e profissionais das áreas de Química e Engenharia Química. Nesse sentido, Pirola, Peretti e Galli (2020) apresentam um estudo de caso de realidade virtual imersiva para fins educacionais em uma unidade de destilação de petróleo. O projeto intitulado EYE4EDU foi feito em parceria com a empresa AVEVA. Ainda na área de Engenharia Química, destacam-se o trabalho de Schofield (2012), de realidade virtual em uma planta de polimerização, e as discussões sobre as oportunidades e desafios nas áreas de Engenharia Química e Bioquímica apresentadas por Kumar et al. (2021). Wehinger e Fleischlen (2020) apresentam ainda um estudo de caso associando pesquisa e ensino de fenômenos de transporte na Clausthal University of Technology.

Ainda se destacam os chamados “laboratórios virtuais” para experimentos remotos. Conforme destacado por Glassey e Magalhães (2020), apesar de não substituírem a interação física dos alunos com os equipamentos, alguns benefícios podem ser identificados, tais como permitir aos estudantes entenderem os conceitos e relações entre as variáveis antes do experimento real. Uma iniciativa pioneira de experimentos com acesso remoto internacional na área de Engenharia Química é descrita por Alliet-Gaubert et al. (2012).



Sala de aula física

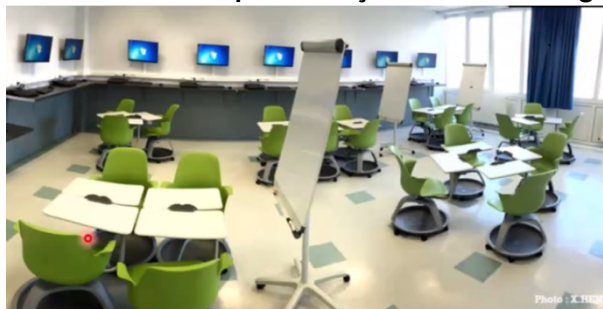
Apesar das inovações digitais no espaço de aprendizado, o ambiente físico continua tendo grande relevância. O contato humano continua sendo decisivo na construção de relações interpessoais duradouras, sendo ainda fundamental para o aluno desenvolver habilidades de comunicação presencial em público, tão comum em ambientes profissionais.

Pode-se também inovar no espaço físico. Há na literatura especializada todo um conjunto de técnicas que visam ao desenvolvimento de *layouts* que procuram criar espaços cada vez mais colaborativos e ergonômicos.

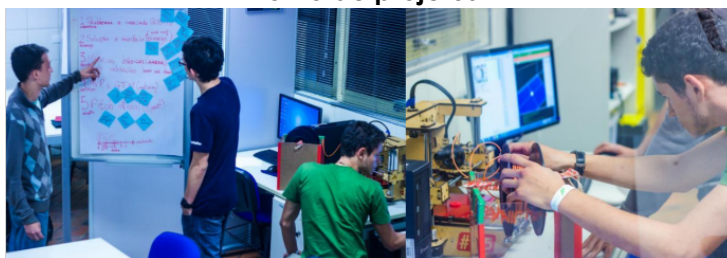
Para a criação de espaços propícios ao estudo, à concentração, à colaboração e à reflexão, mesmo fatores como conforto térmico e acústico, qualidade do ar, nível de ruídos e mobiliários favoráveis à postura ergonômica correta podem influenciar o desempenho do aluno (SMITH, 2017).

São cada vez mais frequentes *layouts* de sala de aula com suportes para escrita colaborativa (múltiplas lousas), diferentes arranjos de agrupamento de alunos (hexagonais, em círculos, em “U” etc.) e os chamados espaços *makers* (GALALELDIN et al., 2017; SAORÍN et al., 2017). Nesses espaços, são privilegiados a interação aluno-professor e aluno-aluno, o debate e, eventualmente, a fabricação para transformar ideias em produtos concretos por meio da impressão 3D (espaços *makers*), o que propicia a adoção de metodologias ativas, estimula a criatividade e promove o abandono do sistema tradicional, em que o processo é baseado no emissor (professor) e o receptor é passivo (aluno). A Figura 3 apresenta um exemplo de sala de aula com *layout* repensado para essas colaborações. A Figura 4 apresenta o InovaLab, um laboratório multidisciplinar que oferece recursos para projetos de engenharia (*softwares*, *hardware*, impressoras 3D, oficinas de mecânica e eletrônica), com acesso para alunos de graduação da Escola Politécnica (POLI) e da Universidade de São Paulo (USP).

Deve-se pensar em como fazer uso desses espaços em um curso de Engenharia Química. *Design* de produtos, *design* de equipamentos de separação e estudos de transferência de calor e massa são algumas áreas que podem se beneficiar de recursos modernos de impressão 3D e sensores.

Figura 3 – Exemplo de *layout* de sala de aula para adoção de metodologias ativas de aprendizagem

Fonte: Schaer (2020).

Figura 4 – InovaLab na Escola Politécnica da USP: espaços para uso compartilhado de recursos em torno de projetos

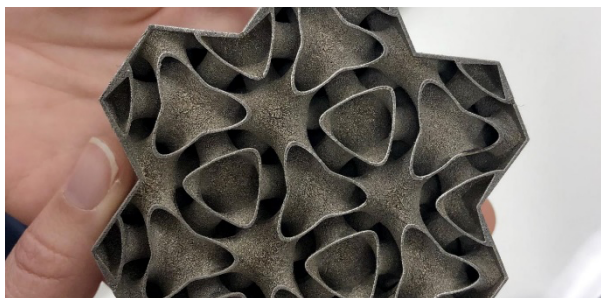
Fonte: Schaer (2020).

No entanto, é importante salientar que de nada adiantam espaços físicos modernos se as mentalidades (e posturas) não forem compatíveis, por parte de professores e alunos. É a mentalidade (e a postura) dos professores e dos alunos – mais do que os recursos físicos – que tem o potencial de transformar a sala de aula em um ambiente de aprendizagem colaborativa e moderna. Nesse ambiente, mais do que o *layout* das cadeiras, o papel do professor e o papel do aluno são determinantes. O professor atuando na orientação, seleção de conteúdos e direcionamento da aula; o aluno agindo com ética e autonomia na construção do seu conhecimento. Assistir a longas aulas gravadas em plataformas modernas de forma passiva é um exemplo de que não bastam os recursos digitais sem aprendizado ativo. Nesse sentido, conforme destacado por Worthington e Levasseur (2015), até mesmo a disponibilização de *slides* pode ser questionada como benéfica ao aprendizado.

INOVAR PARA APRENDER, APRENDER PARA INOVAR

A Figura 5 apresenta parte de um trocador de calor para resfriamento de CO₂ inspirado nos pulmões humanos e elaborado com impressão 3D, desenvolvido por equipe de pesquisadores da GE.

Figura 5 – Parte de um trocador de calor com *design* baseado nos pulmões humanos e elaborado com impressão 3D



Fonte: GE (2019).

Com esse exemplo, percebe-se a associação da dimensão técnica (fluidodinâmica, transferência de calor, novos materiais) e da dimensão não-técnica (criatividade, trabalho em equipe) no processo de inovação tecnológica para responder a uma problemática social (eficiência energética). Qual ambiente de aprendizado pode favorecer o desenvolvimento de ideias inovadoras como esta entre os estudantes? Essa reflexão deve permear os debates sobre a modernização do ensino.

Alguns tópicos contemporâneos

Em 2007, o Professor Seider realizou seu período sabático na empresa 3M Company, tendo como anfitrião seu coautor, Dr. Widagdo. Durante esse período, os capítulos sobre *Product Design* do livro *Product and Process Design Principles* foram escritos. Todo o livro foi reestruturado para dar ênfase no projeto de produtos, classificados em químicos básicos, químicos industriais e produtos ao consumidor final. Esse relato, presente no artigo "*Teaching chemical engineering Product Design*" (SEIDER; WIDAGDO, 2012), aponta para a importância do chamado *Product Design* no contexto do ensino-aprendizagem moderno de Engenharia Química. Os autores fazem ainda um relato do histórico e das experiências adquiridas no curso de *Product Design* na Universidade da Pennsylvania. Conforme destacado por Fung e Ng (2018), *Product Design* tem sido progressivamente implantado no currículo de Engenharia Química em várias universidades, e os detalhes de alguns cursos implementados nos EUA, Reino Unido e Portugal (Porto e Coimbra) são apresentados por Rodrigues e Cussler (2016).

Nesse contexto, o engenheiro químico não deve ser visto unicamente como um engenheiro de processos, mas também como um engenheiro de produto. Tal mudança tem sido destacada na literatura de Engenharia Química como uma verdadeira mudança de paradigma. Hill (2009) define a engenharia de produtos



como o “Terceiro Paradigma” em Engenharia Química, o qual exige que novas metodologias e ferramentas sejam incorporadas à prática do profissional. O “Primeiro Paradigma” remontaria ao ano de 1915, com a introdução do conceito de Operação Unitária; e o “Segundo Paradigma” estaria relacionado ao surgimento de uma Ciência da Engenharia Química nos anos 1950, o que permitiu aos engenheiros químicos analisar problemas sob a perspectiva dos fundamentos físicos e químicos (HILL, 2009). Ainda de acordo com outros autores, a comunidade de Engenharia Química tem começado a reconhecer a necessidade de ensinar engenharia de produtos químicos como parte do currículo de graduação e seria um grande erro desconsiderar as vantagens competitivas e o potencial que um engenheiro químico possui nessa atividade por conta de currículos de graduação inapropriados (VILLADSEN, 1997; COSTA; MOGGRIDGE; SARAIVA, 2006). Portanto, a engenharia de produto pode ser mencionada como possível tema de modernização dos cursos de graduação.

Uma revisão completa dos temas mais proeminentes – que, segundo instituições de pesquisa e empresas de um modo geral, irão moldar os campos de atuação da Engenharia Química a longo prazo – está além do escopo deste artigo. No entanto, alguns tópicos podem ser mencionados, tais como: *design* modular, intensificação de processos, captura e uso de CO₂, energia e químicos renováveis, modelagem e uso de sistemas biológicos, sistemas *cyber-físicos*, nanotecnologia e modelagem de dados. Nestas e em outras áreas, universidades e empresas, o trabalho de forma colaborativa e complementar pode contribuir à formação de competências técnicas e comportamentais nos estudantes em formação. A Figura 6 resume a ideia de que universidades e empresas podem colaborar com os objetivos que tragam benefícios sociais amplos (energia, meio ambiente, saúde, educação etc.). No centro da inovação, temas contemporâneos que devem ser trabalhados em sala de aula.

Figura 6 – Relações complementares e associativas entre universidades e empresas como vetores de inovação



Fonte: acervo do autor.



Bons cursos de Engenharia Química não devem formar apenas *profissionais que atendam ao mercado*, mas também que sejam capazes de *transformar o mercado*. Isso se faz com estímulo à liderança, à inovação e a partir do desenvolvimento da capacidade de interpretação da sociedade em seu sentido mais amplo.

Vale destacar que a lista de temas mencionados não se refere a linhas de pesquisa, que são bem mais vastas e diversificadas. Tratou-se apenas de um subconjunto ilustrativo associado com transformações sociais e tecnológicas mais amplas. Em suas observações sobre modernização de ensino de Engenharia Química nos EUA, baseadas em uma pesquisa com 93 recrutadores e líderes na área de Engenharia Química, o Prof. Grossmann destacou algumas necessidades de modernização de currículo, tais como aumento da exposição dos estudantes à escala molecular, aumento da exposição a aspectos relacionados à energia e sustentabilidade, exposição dos estudantes a novas tecnologias de processos, introdução do *design* de produtos como complemento ao *design* de processos, ênfase em operações de processos e planejamento de negócios e aumento do contato com outros setores industriais, como farmacêutico e eletrônico (GROSSMANN, 2017).

Revolução digital

O uso de grande quantidade de dados para tomada de decisões operacionais ou estratégicas e o uso de ferramentas digitais não são novidade para a Engenharia Química.

Então, o que há de novo? Uma quantidade sem precedentes de dados é atualmente gerada, armazenada e compartilhada. A chamada *big data* é marcada pela disponibilidade de uma grande quantidade de dados em diversas etapas, tais como geração de novos dados (ex.: redes sociais), nova capacidade de medição (ex.: IoT, equipamentos ditos inteligentes), aumento da capacidade de armazenamento (ex.: computação em nuvem) e novas tecnologias de processamento de dados (ex.: aprendizado de máquina, IA, computação cognitiva). Associadas à conexão entre sensores, transmissores, sistemas de planejamento, dados governamentais, informações de fornecedores/clientes em tempo real, essas tecnologias estão alterando os modelos de negócio em vários setores, conforme destacado anteriormente.



Diferenciar “modismos” das tendências concretas adotadas pela sociedade, resultantes da inovação tecnológica (disruptiva ou incremental), é papel de educadores.

CONCLUSÕES

A sala de aula (física ou virtual) deve ser o ambiente de um processo de modernização de ensino que se proponha a aperfeiçoar a formação profissional e o desenvolvimento de competências preconizadas pelas DCNs. Nesse aspecto, as metodologias e ferramentas de ensino ativo servem para realocar o estudante no centro do processo. O ensino ativo deve ser ativo para o aluno e para o professor, ambos voltados para a (e nunca de costas à) sociedade. Para isso, é necessário que professores e estudantes ajam com ética, comprometimento e consciência. Ética para não colocar interesses particulares acima dos valores coletivos, comprometimento com os esforços inerentes ao processo de ensino e aprendizado e consciência de que todos possuem direitos e deveres para com a sociedade e as instituições que os acolhem. O aluno deve ser ativo no processo, o que significa assumir responsabilidades, ser avaliado e cobrado por elas. O professor, por sua vez, deve ser capaz de fazer autoavaliações e autocríticas, além de buscar aprimorar seus métodos de ensino. Como recomendações, sugere-se: i) estabelecer/ampliar linhas de pesquisa em educação em Engenharia Química no Brasil; ii) ampliar a existência de grupos de trabalho capazes de discussões interdisciplinares com outras unidades de ensino e atores externos ao curso (por exemplo: faculdades de educação e empresas); iii) envolvimento contínuo de alunos de pós-graduação (potenciais futuros professores) em atividades de modernização de ensino de graduação, por meio de estágios ou pesquisas em ensino.

REFERÊNCIAS

- ALLIET-GAUBERT, M. et al. Cooperative WebLab in chemical engineering between France and Brazil: Validation of the methodology. **Education for Chemical Engineers**, v. 7, Issue 1, e7-e13, 2012.
- BASF. **Augmented Reality Training at BASF**. Disponível em: <https://holo-light.com/augmented-reality-training-at-basf/>. Acesso em: 03 mai. 2022.
- BLOOM, B. S. et al. **Taxonomy of educational objectives**. New York: David Mckay, 1956.



- BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Lei nº 9.394**, de 20 de dezembro de 1996. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seed/arquivos/pdf/tvescola/leis/lein9394.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2022.
- CHARMING PROJECT. Training in Virtual Reality for the Chemical Industry, 2019. Disponível em: <https://charming-etn.eu/2019/04/03/training-in-virtual-reality-for-the-chemical-industry/>. Acesso: em 15 nov. 2020.
- COSTA, R.; MOGGRIDGE, G. D.; SARAIVA, P. M. Chemical Product Engineering: An Emerging Paradigm Within Chemical Engineering. **AIChE Journal**, v. 52, n. 6, 2006.
- DE ANGELO, D. M. P.; GIANESI, I. G. N. O projeto pedagógico para as novas diretrizes curriculares de Engenharia. In: **A Engenharia e as novas DCNs**. Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- DE LA FLOR, D. et al. Application of escape lab-room to heat transfer evaluation for chemical engineers. **Education for Chemical Engineers**, v. 33, 9-16, 2020.
- DICHEV, C.; DICHEVA, D. Gamifying education: what is known, what is believed and what remains uncertain: a critical review. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, 14:9, 2017.
- FEIJOO, G.; CRUJEIRAS, R. M.; MOREIRA, M.T. Gamestorming for the Conceptual Design of Products and Processes in the context of engineering education. **Education for Chemical Engineers**, v. 22, 44-52, 2018.
- FILHO, G. E. et al. Estratégias e métodos de aprendizagem ativa potencializadores da sala de aula invertida: descrição e exemplos de aplicação. In: **Uma nova sala de aula é possível**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- FORD, N. BIC MAGAZINE. **Solvay adopts VR tech to put safety back into training**. 2020. Disponível em: <https://www.bicmagazine.com/departments/hr/solvay-adopts-vr-tech-to-put-safety-back-into-training/> Acesso em: 03 mai. 2022.
- FRACARO, S. G. et al. Towards design guidelines for virtual reality training for the chemical industry. **Educ. Chem. Eng.**, 12-23, 2021.
- FUNG, K.Y.; NG, K. M. Teaching chemical Product Design using design projects. **Education for Chemical Engineers**, v. 24, 13-26, 2018.
- GALALELDIN, M. et al. The Impact of Makerspaces on Engineering Education. **Proceedings...** The Canadian Engineering Education Association. 2017. DOI: 10.24908/pceea.v0i0.6481.
- GANJINEH, H. How AR And VR Are Paving The Way For The Future Of Renewable Energy. **Forbes**. 2022. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/03/31/how-ar-and-vr-are-paving-the-way-for-the-future-of-renewable-energy/?sh=3dd3adfd19cd>. Acesso em: 03 mai. 2022.



- GE. That's Hot: **This Lung-Inspired 3D-Printed Part For Cooling CO2 Could Take Power Generation To The Next Level**, 2019. Disponível em: <https://www.ge.com/news/reports/thats-hot-this-lung-inspired-3d-printed-part-for-cooling-co2-could-take-power-generation-to-the-next-level>. Acesso em: 15 nov. 2011.
- GOLEMAN, D. **Foco**. A atenção e seu papel fundamental para o sucesso. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, 2013.
- GROSSMANN, I. E. **Trends and Challenges in Chemical Engineering Education**. US Perspective. 2017. Disponível em: <https://www.aiche.org/sites/default/files/community/349761/aiche-community-site-event/447461/1.grossmannusatrendseducationwcce10.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2022
- HEIDEGGER, M. **Discourse on Thinking**. New York: Harper&Row, 1966.
- HILL, M. Chemical Product Engineering – The third paradigm. **Computers and Chemical Engineering**, v. 33, 947-953, 2009.
- KUMAR, V.V. et al. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. **Education for Chemical Engineers**, v. 36, 143-153, 2021.
- MARTÍN-SÓMER, M.; MOREIRA, J.; CASADO, C. Use of Kahoot! to keep students' motivation during online classes in the lockdown period caused by Covid 19. **Education for Chemical Engineers**, v. 36, 154-159, 2021.
- MONNOT, M., et al. New approaches to adapt escape game activities to large audience in chemical engineering: Numeric supports and students' participation. **Education for Chemical Engineers**, v. 32, 50-58, 2020.
- PALHARIM, P. H.; TELES DOS SANTOS, M. Processos da Indústria Química para Engenharia de Produção: Desafios e Experiências em Ensino-Aprendizagem Interdisciplinar. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 40, 2020.
- PETROBRAS. **Petrobras utiliza Realidade Virtual para treinar equipes do Polo de Urucu**. 2020. Disponível em: <https://inforchannel.com.br/petrobras-utiliza-realidade-virtual-para-treinar-equipes-do-polo-de-urucu/>. Acesso em: 18 nov. 2020.
- PIROLA, C.; PERETTI, C.; GALLI, F. Immersive virtual crude distillation unit learning experience: The EYE4EDU project. **Computers and Chemical Engineering**, v. 140, 106973, 2020.
- RODRIGUES A.; CUSSLER E.L. Teaching chemical Product Design. **Education for chemical engineers**, v. 14, 43-48, 2016.
- RODRÍGUEZ, M. et al. Motivational active learning: An integrated approach to teaching and learning process control. **Education for Chemical Engineers**, v. 24, 7-12, 2018.
- SAORÍN, J. L. et al. Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students. **Thinking Skills and Creativity**, v. 23, 188-198, 2017.
- SCHAER, E. **Revisiting Chemical Engineering Education**. 3rd European Forum on New Technologies - Chemical Engineering in the Plant of the future. 2020. Disponível em: <https://efce.info/3rd+European+Forum+on+New+Technologies.html>. Acesso em: 18 set. 2021.



- SCHOFIELD, D. Mass effect: a chemical engineering education application of virtual reality simulator technology. **Merlot J. Online Learn. Teach.** v. 8, 63-78, 2012.
- SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial.** 1 ed. São Paulo: Edipro, 2016.
- SEIDER, W. D.; WIDAGDO, S. Teaching chemical engineering Product Design. **Curr Opin Chem, Eng,** 1:472-5, 2012.
- SIEMENS. **Siemens, Dow and MxD partner to enhance digitalization in the process industries with process automation test bed.** 2021. Disponível em: <https://new.siemens.com/us/en/company/press/press-releases/usa/siemens-dow-mxd-partner-process-automation.html>. Acesso em: 03 mai. 2022.
- SMITH, T. J. The ergonomics of learning: educational design and learning performance. **Ergonomics,** v. 50, n. 10, 1530-1546, 2007.
- TELES DOS SANTOS, M. Uma Engenharia Química 4.0. **Revista Brasileira de Engenharia Química – Associação Brasileira de Engenharia Química,** v. 33, n. 1, 2017.
- TONINI, A. M.; DE ANDRADE, W. T. As competências profissionais do engenheiro nas situações de trabalho e os modelos organizacionais. In: **A Engenharia e as novas DCNs.** Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- VILLADSEN, J. Putting structure into chemical engineering. **Chem Eng Sci.,** 52:2857-2864, 1997.
- WANG, A.I.; TAHIR, R. The effect of using Kahoot! for learning – A literature review. **Computers & Education,** v. 149, 103818, 2020.
- WEHINGER, G.; FLAISCHLEN, S. **Using Virtual Reality to Gain Deeper Insights into Transport Phenomena in Process Engineering.** Virtual AIChE Annual Meeting, 2020.
- WORTHINGTON, D.L.; LEVASSEUR, D. G. To provide or not to provide course PowerPoint slides? The impact of instructor-provided slides upon student attendance and performance. **Computers & Education,** v. 85, 14e22, 2015.