



PRÁTICAS BEM-SUCEDIDAS DO USO DE METODOLOGIAS ATIVAS E DE FERRAMENTAS DIGITAIS PARA O ENSINO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM CURSOS DE ENGENHARIA QUÍMICA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.4910

Autores: MARCELO WALGUSTO DA COSTA BERTOLIN, VIVIANE SANTOS BIRCHAL, DIEGO HENRIQUE DE SOUZA CHAVES

Resumo: *Algumas disciplinas de Engenharia Química, como Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, podem se tornar verdadeiros desafios para os estudantes em relação à compreensão conceitual e à forma como os assuntos estudados se traduzem para a realidade do mercado. Este trabalho avaliou na literatura algumas práticas bem-sucedidas que podem melhorar o processo de ensino e aprendizagem e que sejam aplicáveis ao contexto das universidades públicas. As referências foram selecionadas com base em 4 critérios: custo financeiro das estratégias, popularidade das ferramentas, efetividade das estratégias e aplicações em problemas práticos. Foi possível concluir que as metodologias de aprendizado baseado em problemas e o uso de softwares livres, como o EMSO, assim como o uso de softwares populares, como o Microsoft Excel, são estratégias pedagógicas que permitem avaliar tanto métodos analíticos quanto numéricos para resolução de problemas com trocadores de calor.*

Palavras-chave: *aprendizado baseado em problemas, ensino em engenharia, ferramentas digitais, transferência de calor, metodologias ativas*

PRÁTICAS BEM-SUCEDIDAS DO USO DE METODOLOGIAS ATIVAS E DE FERRAMENTAS DIGITAIS PARA O ENSINO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM CURSOS DE ENGENHARIA QUÍMICA

1 INTRODUÇÃO

O processo contemporâneo de ensino e aprendizagem na Engenharia é bastante desafiador, tanto para discentes quanto para docentes. Desde as disciplinas fundamentais, como Cálculo e Física, até as disciplinas específicas e aplicadas, como Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, os estudantes enfrentam elevados graus de dificuldade na compreensão teórica dos conteúdos e execução de experimentos. As ferramentas computacionais e metodologias colaborativas de ensino são, atualmente, alternativas na superação desses obstáculos e na modernização dos currículos universitários.

Mills e Treagust (2013) e Ballesteros *et al.* (2019) sinalizam alguns dos possíveis motivos pelos quais o conteúdo programático de diversos cursos de engenharia estejam desatualizados em relação às demandas do mercado da área e da sociedade. É possível destacar a falta de integração entre o conteúdo teórico, experimentos e o estudo de casos reais, além da baixa capacidade colaborativa entre os estudantes e a baixa utilização de metodologias centradas no discente. Nesse contexto, destacam-se as metodologias de aprendizado baseado em problemas (*Problem-Based Learning* – PBL), além de outras técnicas e ferramentas que oferecem resultados promissores no contexto do ensino e aprendizagem em diferentes áreas do conhecimento. Inclusive, há de se destacar a expressiva utilização desse grupo de métodos associado a ferramentas digitais, de maneira a empregar tecnologias da informação, programação, simulação e modelagem computacional para aprimorar a qualificação dos estudantes de engenharia (Rosa *et al.*, 2021; Ballesteros *et al.*, 2019; Golter *et al.*, 2007; Mills e Treagust, 2013).

A correlação dessas metodologias de ensino com as novas tecnologias não é casual. Na verdade, é resultado dos impulsos extensivos que a Indústria 4.0 tem causado na humanidade desde seu advento. Essa revolução tecnológica tem levado ao desenvolvimento dos sistemas *cyber*-físicos, em que há a integração e/ou representação dos dispositivos, máquinas e processos fabris por meio de sistemas inteligentes, digitais, automatizados ou controlados remotamente (Rodrigues *et al.*, 2019). O contexto dessa transformação industrial também impõe a necessidade de mudança nos currículos de engenharia, de maneira que passa a ser esperado dos profissionais da área uma qualificação capaz de lidar com essas novas ferramentas.

No campo da Engenharia Química, em especial, há uma forte demanda quanto à qualificação dos profissionais frente a ferramentas digitais. Problemas de Transferência de Calor, por exemplo, muitas vezes requerem o uso de recursos computacionais robustos para resolução de problemas (Rodrigues, 2022). Ressalta-se a importância da utilização de trocadores de calor, equipamentos essenciais em diversas aplicações de engenharia, sendo altamente relevantes na indústria. Destaca-se sua aplicação nos setores de óleo e gás, alimentos, químicos, papel e celulose, além do próprio ambiente doméstico (Rosa *et al.*, 2021; Perussi, 2010).

O funcionamento do trocador de calor é regido pelas leis da Termodinâmica e é baseado no processo de transferência de energia térmica de um fluido para outro, ambos separados por uma barreira sólida, a partir de um gradiente de temperatura estabelecido (Bergman *et al.*, 2014). Existem diferentes configurações disponíveis no mercado e seu

dimensionamento envolve diversas variáveis, tais como temperaturas de entrada e saída dos fluidos, vazão volumétrica, tamanho desejado etc. (Bergman *et al.*, 2014). Além disso, um dos parâmetros de particular interesse nos trocadores de calor é a sua eficiência, que pode ser calculada por diferentes métodos, como o da diferença de temperatura média logarítmica (*Logarithmic Mean Temperature Difference – LMTD*) e o método da efetividade (*Number of Transfer Units – NUT*) (Perussi, 2010).

Diante da importância dos trocadores de calor na indústria e da necessidade de aprimoramento e/ou reformulação das técnicas de ensino e aprendizagem nas engenharias, este artigo tem como objetivo estudar um conjunto de práticas bem-sucedidas para o ensino de Transferência de Calor e com possibilidade de replicação no contexto de uma universidade pública. O foco adotado foi discutir a literatura cuja abordagem envolvesse a modelagem matemática de trocadores de calor e/ou o uso de metodologias de ensino colaborativas centradas no aluno.

2 METODOLOGIA

Na abordagem de aprendizado PBL (*Problem-Based Learning*), os estudantes aprendem por meio da resolução de problemas concretos. Em vez de apenas absorver informações passivamente, os alunos são desafiados a identificar e resolver problemas, muitas vezes em grupos, o que promove a aprendizagem colaborativa, habilidades de resolução de problemas e pensamento crítico. Nessa abordagem, frequentemente são empregadas ferramentas digitais como suporte ao processo educacional. Essas ferramentas referem-se a qualquer tipo de *software*, aplicativo, programa ou dispositivo que utiliza tecnologia digital para desempenhar uma função específica. Isso pode incluir desde *softwares* de processamento de texto e planilhas até aplicativos de comunicação, gerenciamento de projetos, entre outros.

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram buscadas na literatura trabalhos científicos que envolvessem as palavras-chave “transferência de calor”, “ensino” e “trocadores de calor”. As referências foram estudadas buscando-se compor *a posteriori* uma estratégia de ensino e aprendizagem aplicável ao contexto da disciplina de Transferência de Calor do curso de Engenharia Química da UFMG. Os artigos foram selecionados e discutidos com base em:

- Baixo custo financeiro das estratégias utilizadas, viabilizando sua implementação em instituições públicas de ensino superior;
- Popularidade das ferramentas utilizadas na perspectiva de educadores e estudantes brasileiros, facilitando sua aplicação;
- Avaliação da efetividade da estratégia de ensino usada com base em estudos sobre a percepção do aluno;
- Apresentação de situações-problema práticas, que permitam a aplicação de ferramentas digitais no projeto de trocadores de calor industriais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as práticas bem-sucedidas para o ensino de conteúdos de Engenharia Química, Ballesteros *et al.* (2019) propuseram uma abordagem baseada na integração das disciplinas de Operações Unitárias e de Simulação e Modelagem. A premissa estabelecida era de vincular diversos conhecimentos construídos previamente ao longo da graduação para resolver um projeto com múltiplos desafios que suprisse as demandas de aprendizado das duas disciplinas, utilizando a metodologia PBL. Ballesteros *et al.* (2019) propuseram um problema relacionado a dimensionamento de bombas, entretanto, o método utilizado é

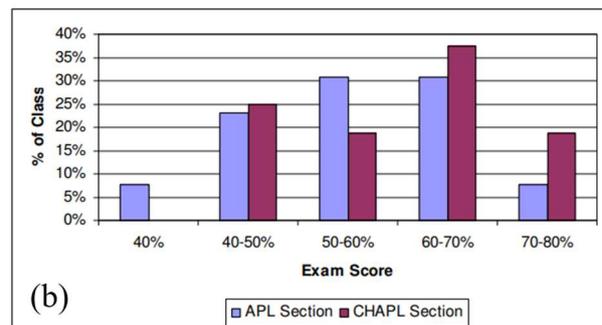
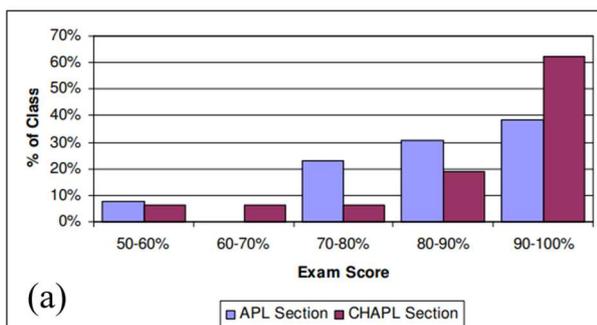
completamente replicável para outros equipamentos industriais, como trocadores de calor. Os estudantes foram levados a desenvolver e aplicar ferramentas transversais para compreender como os conceitos das disciplinas são aplicados em situações reais. O estudo indicou que 85% dos estudantes que participaram das aulas tiveram impressões positivas acerca dos impactos da metodologia utilizada na sua formação enquanto engenheiros. Os autores também destacam os momentos de aprendizado que se sucedem de acordo com essa técnica de ensino e aprendizagem:

1. Início dos estudos a partir de uma questão motivadora, relacionada ao problema a ser resolvido, proposta para os alunos refletirem;
2. Identificação do problema a ser resolvido e *brainstorm* vinculando conceitos das disciplinas;
3. Debate das possíveis soluções de forma colaborativa;
4. Ao longo do debate, os alunos, uma vez engajados, adquirem habilidades e aprofundam seus conhecimentos por meio das atividades;
5. Os alunos entregam, ao fim do processo, uma solução que responde à questão motivadora proposta no início, após assimilar os conhecimentos.

Golter *et al.* (2007) realizaram estudos que respaldam a efetividade de metodologias ativas de ensino e aprendizagem. Propuseram experimentos utilizando trocadores de calor em escalareduzida com duas abordagens: ora foi aplicada uma metodologia ativa em ambiente cooperativo estimulado e com técnicas práticas (*Cooperative, Hands-on, Active, and Problem-based Learning – CHAPL*); ora o uso da mesma metodologia sem esses favorecedores adicionais (PBL “clássico”). O experimento didático foi realizado na disciplina de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, em que a turma foi dividida em dois grupos.

Ao fim do semestre, realizou-se uma investigação por meio de entrevistas em formato *focus group* com os participantes, cujos resultados se apresentam bastante esclarecedores. *Focus group* é uma técnica de pesquisa qualitativa em que um moderador conduz uma discussão em grupo para explorar opiniões, percepções, atitudes e experiências. Verificou-se que, no método CHAPL, 80% dos alunos sentiram que aprenderam ante 50% no método PBL. Além disso, 60% do primeiro grupo percebeu ter adquirido habilidades aplicáveis ao trabalho como engenheiro ante 15% no segundo. Os autores relatam uma série de outros ganhos apontados qualitativamente pelos alunos com relação ao método mais abrangente e ressaltam que houve melhoria no grau de aprendizado à medida em que os fatores de estímulo ao ambiente colaborativo foram promovidos. Outra conclusão que deve ser ressaltada é o rendimento dos estudantes após os dois exames (Figura 1), em que muito embora o segundo exame tenha imposto maiores dificuldades aos alunos, em ambos os casos é possível observar que o grupo de estudantes da metodologia CHAPL teve um desempenho comprovadamente superior.

Figura 1 – Desempenho no curso durante o primeiro exame (a) e o segundo exame (b).



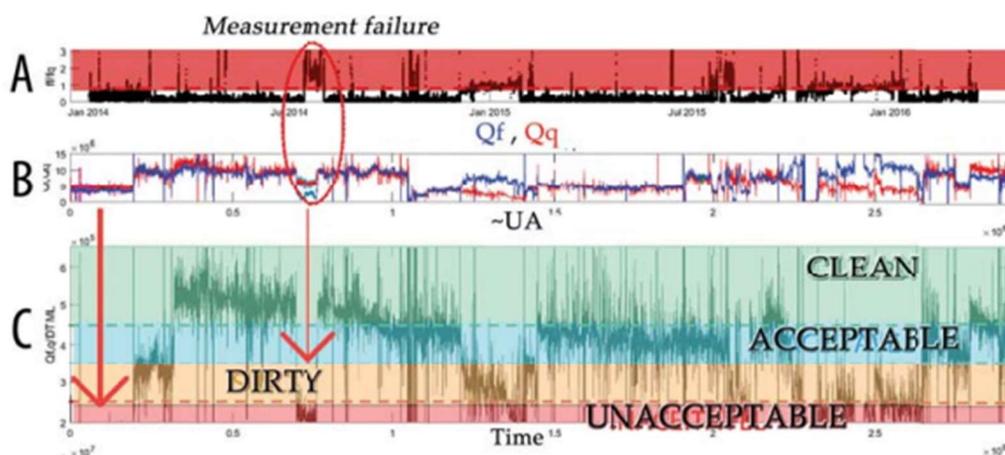
Fonte: Golter *et al.* (2007).

As conclusões de Golter *et al.* (2007) são convergentes ao que outros autores observaram (Rodrigues, 2022; Rosa *et al.*, 2021; Ballesteros *et al.*, 2019; Gurses *et al.*, 2015), que também avaliar o nível de aprendizado e satisfação dos alunos após a aplicação de uma metodologia ativa com uso de ferramentas digitais.

Rosa *et al.* (2021) comentam dos desafios de adotar metodologias PBL, pois as práticas pedagógicas muitas vezes podem exigir não só da criatividade dos educadores, como também recursos que não estão disponíveis em toda instituição de ensino. Por essa razão, a proposta de ensino e aprendizagem foi baseada em simuladores do tipo *Hardware In the Loop* (HIL), que permite a simulação de condições reais a baixo custo nas instituições de ensino. Simuladores HIL são ferramentas utilizadas para testar e validar sistemas complexos, integrando componentes físicos reais (*hardware*) com modelos virtuais ou simulações computacionais (*software*). Uma abordagem proposta por Rosa *et al.* (2021) foi uma modelagem para um trocador de calor em contracorrente genérico com aplicação real em uma indústria, utilizando o método LMTD para determinar a eficiência e o coeficiente de troca térmica a partir dos dados coletados em tempo real por sensores. O *software* MATLAB e sua extensão, Simulink, foram utilizados para aplicação do método baseado em problemas.

A ferramenta computacional desenvolvida para a sala de aula apresenta visualizações gráficas (Figura 2) em que se compara a expectativa (valores teóricos) e as medidas em tempo real (valores reais) do produto entre a área superficial de troca térmica e o coeficiente global de transferência de calor (UA). O coeficiente UA está diretamente relacionado com a limpeza do trocador de calor devido à sua influência na eficiência da transferência de calor. Quando um trocador de calor está limpo, a área de superfície efetiva para a transferência de calor é maximizada, o que resulta em um valor de UA maior. Por outro lado, se o trocador de calor estiver sujo, com acúmulo de sujeira, incrustações ou depósitos em suas superfícies, a área de superfície efetiva para a transferência de calor é reduzida (UA menor). Assim, foi apresentado por Rosa *et al.* (2021) um algoritmo de tomada de decisão com base no diagnóstico que o gráfico fornece e que serviu para guiar o aluno na análise dos problemas apresentados.

Figura 2 – Dados de simulação do trocador de calor e passos para identificação de problemas com base no algoritmo desenvolvido.



Fonte: Rosa *et al.* (2021).

Rosa *et al.* (2021) ponderam que não é obrigatório que as instituições invistam nos altos custos dos *softwares* comerciais de simulação. Destaca-se, portanto, que não é imprescindível a realização de experimentos em equipamentos reais, frequentemente caros e de operação e manutenção complexas, o que pode representar uma restrição para a disciplina de Transferência de Calor. Há ganhos no processo de ensino-aprendizado, especialmente por permitir ao aluno se aproximar de situações-problema reais da indústria, entretanto, é importante ressaltar o estudo de Rosa *et al.* (2021) não avaliou diretamente o ganho por meio de testes ou avaliações com os estudantes. Outro ponto a ser observado é que, além da sala de aula e laboratório nas instituições de ensino superior, a solução computacional desenvolvida pode ter aplicabilidade para treinar operadores de produção, por exemplo, e contribuir para sua formação técnica.

Martin e Kassab Junior (2006) ressaltam que simuladores são ferramentas adequadas e promissoras para o ensino, especialmente em metodologias PBL. Em contrapartida, também destacam que experimentos em plantas piloto ou em equipamentos de escala laboratorial, mesmo que bem-sucedidos para o ensino, estão sujeitos a uma série de erros de procedimento ou defeitos dos dispositivos que podem levá-los a situações que não são coerentes com a realidade. Isso frequentemente causa frustração nos alunos, já que o experimento, além de ser predominantemente demonstrativo (e menos prático), pode se estender por várias horas sem atingir o propósito formativo desejado.

Silva *et al.* (2019) compararam diferentes métodos no dimensionamento de trocadores de calor casco e tubo. Isso envolve calcular o tamanho adequado do trocador de calor, determinando sua capacidade de transferência de calor para atender às demandas de aquecimento ou resfriamento de um fluido, garantindo assim o desempenho adequado do sistema. Os autores compararam três alternativas distintas: um método analítico (LMTD) e dois métodos computacionais (o Solver do Microsoft Excel e o DWSIM, um *software* destinado à Engenharia Química). O uso dos *softwares* como ferramenta didática foi bem recebido pelos alunos, muito embora não tenham aferido o nível de fixação do conteúdo ou satisfação com a metodologia empregada. Além disso, Silva *et al.* (2019) consideram que o suplemento Solver do Excel trouxe o resultado de menor erro relativo e foi a ferramenta mais fácil, ágil e simples de ser utilizada devido à sua familiaridade para educadores e estudantes. Essa conclusão sugere que a ferramenta pode ser amplamente utilizada em práticas educacionais, pois muitas instituições de ensino superior disponibilizam licenças do Pacote Microsoft Office, que inclui o Microsoft Excel, e a maioria das empresas privadas também utiliza o programa. Assim, além de tornar o ensino da disciplina mais dinâmico e assertivo, essa é uma boa alternativa para qualificar os alunos dentro de ferramentas que também lhes serão demandadas no mercado de trabalho.

Rodrigues (2022) implementou uma prática baseada em metodologias PBL e ferramentas digitais para ensino da disciplina de Operações Unitárias com Transferência de Calor e Massa I, do curso de Engenharia Química da UFES e avaliou os resultados de acordo com a perspectiva dos alunos. Ele utilizou o *software* livre EMSO (*Environment for Modeling, Simulation and Optimization*) (Rodrigues *et al.*, 2010; Soares e Secchi, 2003), bastante flexível para equações e projetos de dimensionamentos industriais. Rodrigues (2022) também pondera que poucos trabalhos utilizam a ferramenta no contexto da Engenharia Química. O trabalho utilizou os métodos LMTD e NUT para o projeto de trocadores de calor de 5 configurações distintas. O trabalho testou a aplicação do método fornecendo aos grupos de alunos um arquivo inicial com exemplos mínimos do que deveria ser feito, sendo esperado desconhecimento dos estudantes em EMSO. O professor realizou encontros de até 1,5 h para explicação dos conteúdos e fornecidos também

desenvolvimentos referenciados na literatura para os problemas, de modo a permitir a comparação das soluções.

Rodrigues (2022) mensurou o grau de aceitação e aprendizado dos estudantes com um questionário de 8 perguntas objetivas e 1 pergunta dissertativa. Os estudantes consideraram que as atividades propostas ajudaram na melhor compreensão dos conteúdos abordados em aula, indicando, assim, que o EMSO conseguiu ser uma ferramenta computacional auxiliar para ensino e aprendizagem de Operações Unitárias. Os estudantes relataram não ter utilizado anteriormente outros tipos de *software* em aulas do curso e que as atividades propostas foram um bom modo de abordar os conteúdos. Além disso, essas conclusões demonstram a viabilidade de uso de um *software* livre, que não resultando em despesas para a instituição, fator favorável no contexto das universidades públicas, por exemplo. Mesmo ferramentas gratuitas podem ser robustas o suficiente para entregar soluções numéricas de alto custo computacional com baixa taxa de erros, conforme observado por Rodrigues *et al.* (2019), que utilizaram também um *software* livre, o SciLab, amplamente popular no ensino de diversas disciplinas de graduação. O método das diferenças finitas foi empregado para estimar o coeficiente global de troca térmica em um trocador de calor real operando em contracorrente.

Observa-se em todos os exemplos estudados que o uso de ferramentas digitais pode não só sustentar práticas baseadas em métodos PBL, como também contornar os desafios que esse tipo de método impõe aos educadores, como a questão da criatividade e o custo de implementação de ferramentas. É possível observar também uma boa aceitação por parte dos estudantes, o que encoraja o uso da ferramenta como meio didático.

4 CONCLUSÃO

Para além do desafio de atender as demandas do mercado por profissionais capacitados nas inovações tecnológicas da Indústria 4.0, o uso dos *softwares* pode ajudar as universidades a manejar o obstáculo financeiro de sustentar uma estrutura laboratorial. É importante ressaltar que, no contexto das universidades federais, é extremamente desafiador obter recursos que viabilizem a criação de plantas-piloto ou laboratórios de ponta. Essa limitação de recursos restringe, inclusive, a manutenção de instalações que já se tornaram obsoletas. Práticas eficazes foram identificadas na melhoria do ensino de disciplinas da Engenharia Química, especialmente Transferência de Calor. Muito embora alguns trabalhos não tenham mensurado a eficácia da metodologia empregada, há resultados que ressaltam a importância de um ambiente com estímulos à colaboração para desenvolvimento do aluno.

Além disso, é possível observar que tanto *softwares* livres, como o SciLab e o EMSO, quanto os pagos, como o Microsoft Excel, são ferramentas de boa usabilidade e podem fornecer resultados satisfatórios na modelagem de trocadores de calor. Considera-se, então, ser viável desenvolver um programa de ensino baseado em ferramentas digitais como alternativa aos experimentos com equipamentos, tanto em razão do custo, quanto em razão da usabilidade das ferramentas. Por fim, com base nas observações quanto às práticas de ensino, considera-se relevante mensurar o nível de conhecimento, aceitação e satisfação dos estudantes no início e ao término do curso ao implementar uma nova estratégia pedagógica. Dessa forma, será possível comparar resultados e obter conclusões mais assertivas.

REFERÊNCIAS

BALLESTEROS, M.A.; DAZA, M.A.; VALDÉS, J.P.; RATKOVICH, N.; REYES, L.H. Applying PBL methodologies to the chemical engineering courses: Unit operations and modeling and simulation, using a joint course project. **Education for Chemical Engineers**, v. 27, p. 35–42, 2019.

BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S.; INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GOLTER, P.; VAN WIE, B.; BROWN, G. comparing student experiences and growth in a cooperative, hands-on, active, problem based learning, environment to an active, problem based environment. In: 2007 Annual Conference & Exposition, **American Society for Engineering Education**, 2007.

GURSES, A.; DOGAR, C.; GEYIK, E. teaching of the concept of enthalpy using problem based learning approach. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 97, p. 2390–2394, 2015.

MARTIN, P.A.; JUNIOR, F.K. Uso de trocador de calor como ferramenta didática para o ensino de modelagem e sistemas de controle. **Revista Brasileira de Ensino de Engenharia**, v. 25, n. 2, p. 3–9, 2006.

MILLS, J.E.; TREAGUST, D.F. Engineering Education – Is problem-based or project-based learning the answer?. **Australasian Journal of Engineering Education**, 2003. Disponível em: http://www.aeee.com.au/journal/2003/mills_treagust03.pdf. Acesso em: 02 mai. 2024.

PERUSSI, R. **Análise do desempenho de trocadores de calor de fluxo cruzado por simulação numérica**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

RODRIGUES, A.P.C.; LOPES, P.H.S.; SILVEIRA, J.V.W., CARDOSO, A.O. Módulo de simulação didático para trocador de calor em software livre. In: XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2019, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia.

RODRIGUES, R.; SOARES, R. P.; SECCHI, A. R. Teaching chemical reaction engineering using EMSO simulator. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 18, n. 4, p. 607–618, 2010.

RODRIGUES, R. Uso do simulador EMSO em aulas de operações unitárias para projeto de trocadores de calor e evaporadores. In: II Process Systems Engineering Brazil, 2022, Curitiba. **Anais**. Curitiba.

ROSA, A.H.R.; FERREIRA, R.V.; PEREIRA, C.A. Integrated PBL and HIL practices for real-time simulations applied in technical and engineering teaching using embedded systems. **Przeglad Elektrotechniczny**, v. 97, n. 1, p. 46–52, 2021.

SILVA, A.A.; CUNHA, R.S.; OLIVEIRA, J.L.B.; HENRIQUES, I.P.S.A.; MACHADO, R.A.F. Utilização do MS Excel e do DWSIM como ferramentas computacionais no dimensionamento de trocador de calor casca e tubo. In: XLVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2019, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza.

SOARES, R.P.; SECCHI, A. R. EMSO: A new environment for modelling, simulation and optimisation. **Computer Aided Chemical Engineering**, v. 14, p. 947–952, 2003.

SUCCESSFUL PRACTICES OF USING ACTIVE METHODOLOGIES AND DIGITAL TOOLS FOR TEACHING HEAT TRANSFER IN CHEMICAL ENGINEERING COURSES

Abstract: *This study evaluated in the literature some successful practices that can improve the teaching and learning process of Chemical Engineering disciplines such as Transport Phenomena and Unit Operations, which can be real challenges for students in terms of conceptual understanding and how the studied subjects translate into the market reality. The references were selected based on four criteria: financial cost of the strategies, popularity of the tools, effectiveness of the strategies, and applications in practical problems. It was possible to conclude that problem-based learning methodologies and the use of free software, such as EMSO, as well as the use of popular software like Microsoft Excel, are pedagogical strategies that allow evaluating both analytical and numerical methods for solving problems with heat exchangers.*

Keywords: *problem-based learning, engineering education, digital tools, heat transfer, active methodologies.*

