

APRENDIZAGEM "HANDS ON": CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE DISPOSITIVOS PARA PROVA DE CONCEITO NA DISCIPLINA DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Enrique Vilarrasa García – enrique@gpsa.ufc.br
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, Bloco 731
60455760 – Fortaleza – Ceará

Diana Cristina Silva de Azevedo – diana@gpsa.ufc.br
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, Bloco 710
60455760 – Fortaleza – Ceará

Resumo: *Operações Unitárias I é uma das disciplinas obrigatórias no curso de graduação de Engenharia Química, sendo pré-requisito para disciplina de Fenômenos de Transporte I. Operações Unitárias I está focada em operações que envolvem transferência de momento, como escoamento de fluidos mediante máquinas de fluxo, bombas e compressores, e dinâmica de partículas em meio fluido. Este trabalho teve por objetivo a construção e operação de equipamentos como uma ferramenta complementar à formação dos futuros engenheiros químicos que cursam a disciplina de Operações Unitárias I. No planejamento e construção do protótipo, eles se veem confrontados diante de um problema que requer o uso de conceitos aprendidos nesta e em outras disciplinas, preparando-os para o futuro como profissionais atuantes. Neste trabalho, o impacto do projeto na performance do discente é avaliado através de uma relação entre as notas obtidas pelos discentes que realizaram o projeto e a nota final da disciplina.*

Palavras-chave: *Operações Unitárias. Protótipo. Projeto. Avaliação. Aprendizagem.*

1 INTRODUÇÃO

A formação de profissionais em engenharia exige, além do conhecimento teórico de fenômenos e fórmulas, o raciocínio crítico com as informações e os resultados obtidos, bem como a tomada de decisão mais ágil e precisa para as situações reais na indústria.

A metodologia conhecida como PBL, em inglês *Problem-Based Learning*, ou ABP em português, aprendizagem baseada em problemas, busca complementar o conhecimento de sala de aula com problemas diferenciados, que exigem raciocínio crítico, conhecimento teórico e prático, bem como habilidade comunicativa (WILKERSON, GIJSELAERS, 1996; RIBEIRO, 2008). Tendo em vista sua grande aplicabilidade aos cursos de Engenharia Química (WOODS, 1996), a disciplina de Operações Unitárias I do curso de graduação em Engenharia Química na Universidade Federal do Ceará utiliza este princípio em busca de um maior contato dos alunos com os equipamentos industriais.

A aprendizagem ocorre de forma muito mais eficaz quando o aluno correlaciona teoria à prática. A criação de situações nas quais os estudantes aprendam a partir de suas experiências, de suas reflexões, da interação dialogada com outros alunos e com o professor tem se mostrado mais eficiente no processo de ensino-aprendizagem, no que complementa a interação instrutiva das aulas expositivas.

Com este objetivo, anualmente, é proposto na disciplina que os alunos construam um protótipo demonstrativo de uma operação unitária, vista em sala de aula, alterando o equipamento escolhido a cada edição da disciplina, propondo a construção de elutriadores, leitos fixos, leitos fluidizados e ciclones, entre outros equipamentos.

O elutriador é uma coluna vertical através da qual escoam um fluido (geralmente água) com velocidade ascendente definida. O material particulado, a ser tratado, é alimentado no topo da coluna. Assim, as partículas sólidas com velocidade de sedimentação maior que a do fluido são coletadas no fundo da coluna e o restante é arrastado pelo fluido. Geralmente utilizam-se várias colunas de diâmetro crescente com diferentes velocidades de fluido, o que possibilita efetuar uma classificação do material.

Os leitos fixos são equipamentos de considerável importância na indústria devido às suas diversas aplicações, como a catálise de reações químicas, adsorção de gases para purificação e cromatografia. A modelagem do projeto é baseada na equação de Ergun (1949), que correlaciona as características físicas do recheio às propriedades do fluido e à velocidade do escoamento. Neste âmbito, o projeto visaria o aprendizado sobre as aplicações de um leito fixo, além da verificação da validade da equação de Ergun em faixas de vazões variadas.

Já os ciclones ou separadores ciclônicos são equipamentos que empregam uma resultante entre as forças de arraste, peso e centrífuga para a separação de partículas sólidas. Os ciclones possuem um desenho simples, baixo custo de manutenção, além de serem largamente utilizados como elementos de coleta de material particulado, não só como equipamento de controle de poluição, mas também como elemento próprio do processo industrial na separação, sendo usado até mesmo na classificação de partículas. Informações mais detalhadas podem ser encontradas na literatura (McCABE, 2005; GEANKOPLIS, 2008; CREMASCO, 2012; PEÇANHA, 2014)

O conhecimento do funcionamento e do fenômeno que ocorre nestes equipamentos é de extrema importância para os engenheiros que os projetam. Com o aumento das tecnologias disponíveis no mercado, várias ferramentas aparecem para auxiliar no dimensionamento destes equipamentos. A partir disto, é importante que o engenheiro tenha domínio sobre as ferramentas disponíveis

2. METODOLOGIA

A avaliação da disciplina de Operações Unitárias cursada na graduação de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará é dividida em quatro notas, correspondentes a três avaliações parciais (P1, P2 e P3) e a elaboração de um projeto (T), conforme Equação 1.

$$\text{Final} = 0,20 \times T + 0,20 \times P1 + 0,30 \times P2 + 0,30 \times P3 \quad \text{Equação 1}$$

O projeto consiste, basicamente, na construção de um protótipo de um equipamento relacionado a uma das operações unitárias estudadas em aula. O protótipo é construído em grupos de até cinco alunos, fomentando-se o trabalho em equipe, a criatividade e a inovação.

Além de ser fomentado o trabalho em equipe, outro objetivo da construção do protótipo visa colocar o aluno frente aos problemas reais referentes à modelagem, projeção, construção e *start-up* de um equipamento.

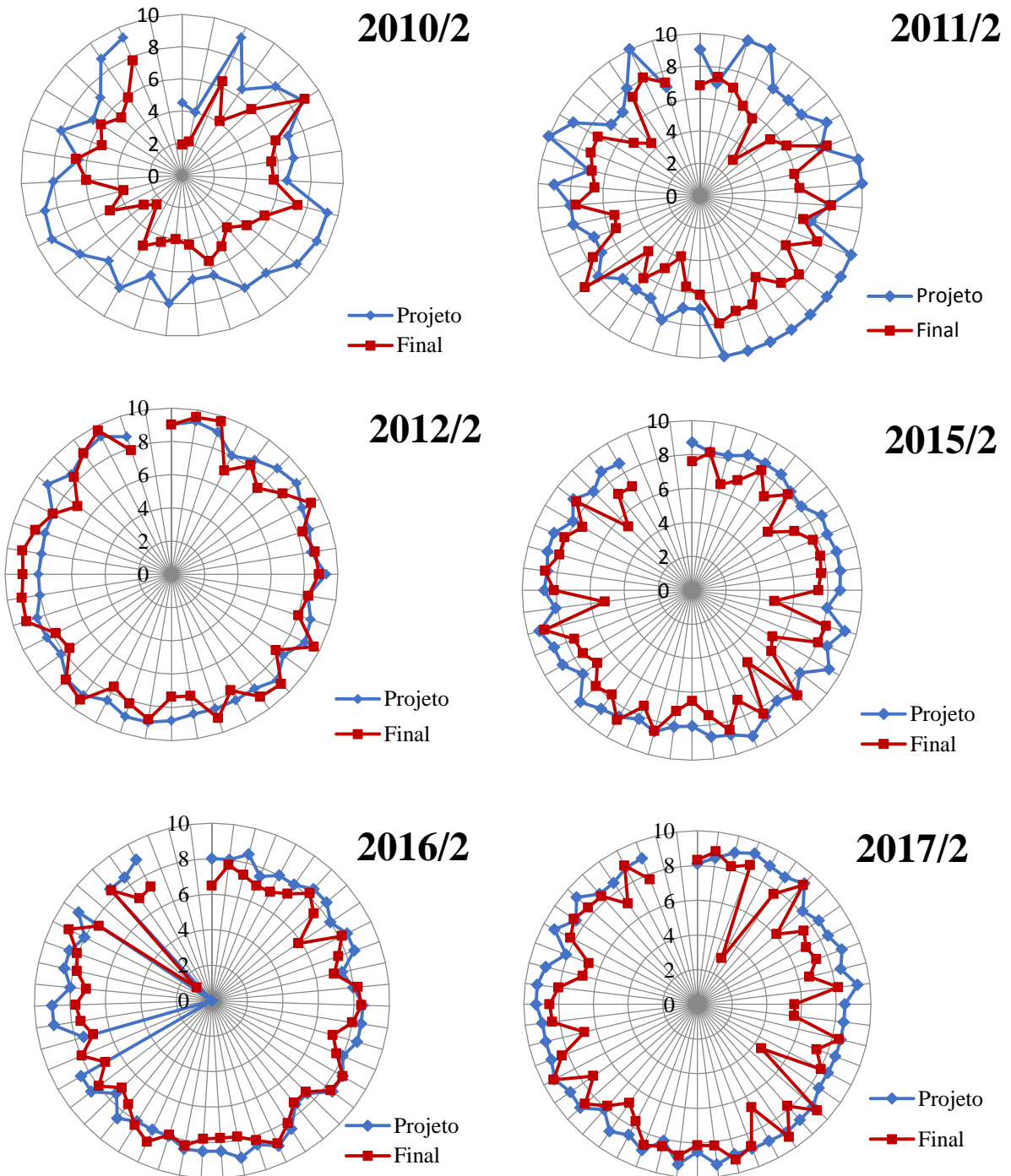
A nota do projeto é dividida em partes iguais, entre apresentação e demonstrativo do funcionamento do protótipo e elaboração do relatório, onde são recolhidos os cálculos fundamentais.

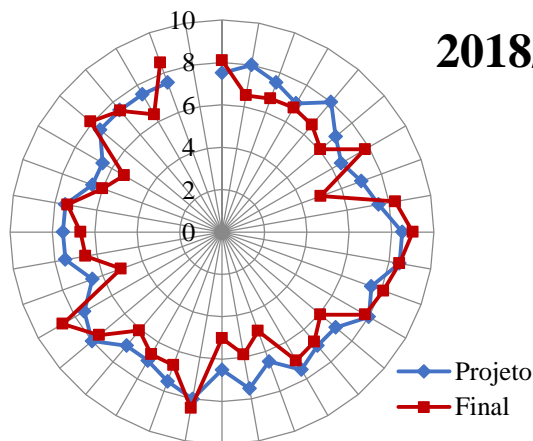
Na sequência, são apresentados os resultados. Concomitantemente, é feita a análise e discussão desses resultados para identificar a contribuição da elaboração do projeto na performance dos alunos na disciplina.

3. RESULTADOS

A Figura 1 apresenta uma relação entre as notas finais e as notas dos projetos para os alunos de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, que cursaram a disciplina de Operações Unitárias I entre 2010 e 2018, para uma amostragem total de 314 alunos. Para cada ano, as linhas que saem do centro dos círculos representam cada aluno, enquanto os círculos concêntricos estão associados às notas (de 0 a 10). A nota do projeto é a média entre o demonstrativo do funcionamento do protótipo e o relatório. Observa-se que para todos os anos considerados na coleta de dados, a participação dos alunos na construção do projeto teve uma contribuição positiva na avaliação final obtida na disciplina.

Figura 1. Notas do projeto (azul) e notas finais (vermelho) obtidas por cada aluno na disciplina de Operações Unitárias I.





Fonte: Elaboração própria.

Estes resultados podem ser melhor visualizados na Tabela 1, onde são apresentadas as médias das notas final e do projeto para cada turma, seus respectivos desvios médios, assim como o número de alunos para cada turma e o percentual de participação no projeto.

Tabela 1 - Coeficientes de rendimento dos alunos no período 2010-2018.

	Média das notas do projeto	Desvio médio das notas dos projeto	Média das notas finais	Desvio médio das notas finais	Número de alunos	% de alunos que realizaram o projeto
2010	7,7	1,0	5,1	1,2	31	93,54
2011	8,5	1,1	6,5	1,0	49	91,84
2012	8,7	0,4	8,4	0,7	40	97,50
2015	8,4	0,5	7,3	0,9	51	98,04
2016	8,1	0,6	7,6	0,7	48	97,92
2017	8,8	0,3	7,8	0,9	50	100,00
2018	7,4	0,4	6,9	1,0	45	91,11
Número total de alunos					314	

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que a média das notas obtidas no projeto foi sempre superior à nota média final, sendo esta diferença mais acentuada nos primeiros anos do estudo, uma vez que os alunos apresentaram uma média final baixa. A melhor performance observada nas notas obtidas nos projetos é um claro indicativo do envolvimento dos alunos na elaboração dos projetos. Os elevados índices de participação no projeto, superiores em todos os casos a 90%, reforçam esta ideia.

3.1. Desafios na construção dos protótipo

Como dito anteriormente, o protótipo escolhido para ser construído pelos alunos vai mudando de ano em ano. Nos últimos anos, leito fixo e fluidizado, eluidor e ciclones foram os projetos que tiveram uma maior presença na disciplina de Operações Unitárias I.

Nas Figuras 2 e 3, foram recolhidas algumas fotos referentes à construção e testes para leito fluidizado e ciclone, respectivamente, de dois grupos, em diferentes anos.

Figura 2. Construção e operação de um leito fluidizado utilizando água e milho.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=UuLjMTMcjaI&t=46s>

Figura 3. Construção e operação de um ciclone (sólido retido areia).



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=zxnRVnJgaKw>

Cada projeto elaborado apresenta uma série de desafios que dificilmente poderiam ser visualizados, caso os alunos não fossem estimulados a construir o protótipo. Estes desafios complementam a formação dos alunos, conferindo-lhes uma visão ampla e prática, um maior entendimento acerca do funcionamento e da aplicação da operação unitária que fundamenta o projeto.

Assim, problemas comuns aos diferentes projetos que foram observados durante estes anos são:

- A escolha do material, tanto para separar como para elaborar o protótipo;

- Classificação do material particulado, faixa granulométrica;
- Determinação de densidade;
- Máquina de fluxo. Medição de vazão;
- Dimensões do protótipo;
- Vazamento;
- Pesquisa bibliográfica de correlações empíricas, esferecidade da partícula.

Os alunos resolveram esse tipo de problemas usando o raciocínio, tendo em vista que se valorizou o uso de materiais de baixo custo, além do orçamento ser limitado a 200 reais. Na escolha do material de construção, para equipamentos como ciclones e leitos fluidizados, garrafas de polietileno tereftalato (PET) foram as mais usadas. Porém, a vedação, geralmente, dificulta seu uso. A classificação granulométrica e determinação da densidade apareceram como os primeiros problemas a serem enfrentados pelos alunos, uma vez escolhido o material a ser separado. Apesar de serem dois parâmetros facilmente determináveis, especialmente por peneiramento e picnometria, respectivamente, os alunos nem sempre tiveram à sua disposição peneiras adequadas para particulados finos ou picnômetros. A necessidade fez com que muitos alunos procurassem em laboratórios do campus, favorecendo a comunicação e a parceria interdisciplinar.

Conseguir a vazão adequada, especialmente em ciclones e elutriadores, é outro desafio importante, sendo secadores de cabelo os mais usados na elaboração de ciclones; e em elutriadores, bombas de água de máquinas de lavar roupa, entre outros.

Entre os problemas específicos, segundo o tipo de equipamento, podem ser citados, por exemplo, a necessidade de considerar as perdas de carga nas tubulações que dão acesso ao leito fluidizado. Nos ciclones, conseguir a separação de particulados por tamanho foi o maior desafio. A maioria dos grupos que trabalharam com ciclones conseguiram a remoção dos particulados de correntes gasosas, mas não conseguiram separar estes particulados por faixas granulométricas. Isto foi observado também na operação dos elutriadores, onde dificilmente os alunos conseguiram uma separação eficiente por tamanho de particulados. A posição onde vai ser alimentado o ciclone, as conexões e manipulação das peças de PET e o controle da vazão e vedação foram outros dos problemas vistos com os ciclones. A manutenção e adequação das proporções do ciclone, por exemplo tipo Lapple, também constituiu um interessante desafio.

No final das contas, trata-se de uma experiência produtiva para os alunos, como pode ser observado em varios depoimentos dos alunos que cursaram a disciplina na elaboração de um leito fluidizado (transcrições literais)

“Bom, este trabalho foi uma das melhores experiências que eu já tive na faculdade até hoje. A gente pode realmente ver tudo aquilo aprende na teoria e conseguiu ver na prática. A gente foi exposta a situações em que tínhamos um problema e tínhamos que resolver esse problema. Acho que isso é ser engenheiro, ter um problema na sua frente e, de alguma forma, conseguir encontrar uma solução para ele. A gente teve que lidar com isso o tempo todo no nosso trabalho, a gente conseguia superar um problema e outro já aparecia. Sempre perseveramos no sentido de fazer o trabalho dar certo.

No fim das contas, tudo deu certo! A gente aprendeu muita coisa. Foi ótimo o trabalho!”

O depoimento pode ser encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=T1yUcDVly84>.

“ Eu acredito que esta experiência foi muito enriquecedora para a gente porque um projeto como esse, grande como a gente fez... começar do zero para terminar em um leito completo é muito importante. A gente tem muito tempo de sala de aula e vê os equipamentos já prontos, estuda apenas a teoria deles. Na hora que a gente constrói um equipamento, realmente desde o início, aprendemos muita coisa, muita resolução de problemas e inclusive situações que nem eram diretamente ligadas ao trabalho e a teoria deste, e sim, resolução de problemas do dia a dia [...] coisas que não pertencem a engenharia mas que a gente acaba adquirindo também experiência por causa das intervenções que vão aparecendo. Eu acho muito importante que tenha esse tipo de projetos para a gente porque aprendemos a viver o dia a dia da engenharia”

O depoimento pode ser encontrado em: https://www.youtube.com/watch?v=1XBb4Yz_61I

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi avaliado o impacto da construção e da elaboração de um equipamento baseado em alguma operação unitária vista nas aulas da disciplina de Operações Unitárias I. O objetivo é complementar a formação teórica dos discentes, incentivar o trabalho em equipe, confrontar problemas, fomentar a pesquisa bibliográfica, raciocínio lógico, aplicação de conceitos e fundamentos adquiridos e colaboração interdisciplinar. Os resultados mostraram uma alta satisfação dos alunos perante o desafio. Os estudantes foram afetados de forma positiva pelo projeto de aplicação, já que ele trouxe aos discentes uma simulação da rotina de um engenheiro, desde os questionamentos que precedem o início de um projeto ao dimensionamento do equipamento. Atrelado a isto, a aplicação de conhecimentos multidisciplinares que foram passados em disciplinas anteriores e a utilização de ferramentas que podem auxiliá-los durante a concepção do projeto permite que os discentes tenham uma visão mais ampla das ferramentas que estão disponíveis e, como aplicá-las de modo eficiente.

REFERÊNCIAS

CREMASCO, Marco Aurelio, "Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos", Blucher, São Paulo, 2012

ERGUN, Sabri.; ORNING, A. A. *Fluid flow through randomly packed columns and fluidized beds*. Industrial & Engineering Chemistry, v. 41(6), p.1179-1184, 1949. (CONFIRMAR)

GEANKOPLIS, Christie John, "Transport Phenomena and Unit Operations", McGraw-Hill, 4th Edition, New Jersey, 2008

MCCABE, W., SMITH, J. C. e HARRIOT, P., "Unit Operations of Chemical Engineering", 7a Edição, McGraw-Hill UK, 2005

PEÇANHA, R. Sistemas particulados:” Operação Unitárias envolvendo partículas e fluidos”.Elsevier, Rio de Janeiro 2014

RIBEIRO, L.R.C. Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior. São Carlos: EDUFSCar, 2008.

WILKERSON, L; GIJSELAERS, W. Bringing Problem-Based Learning to Higher Education: Theory and Practice. San Francisco: Jossey-Bass, 1996.

WOODS, D. R. Problem-based learning for large classes in chemical engineering. New Directions for Teaching and Learning, p. 91–99, 1996

HANDS ON LEARNING: CONSTRUCTION AND OPERATION OF DEVICES FOR PROOF OF CONCEPT IN THE UNIT OPERATIONS COURSE IN THE CHEMICAL ENGINEERING UNDERGRADUATE PROGRAM

Abstract: *Unit Operations I is one of the mandatory courses in the Chemical Engineering undergraduate program, being a prerequisite for the Transport Phenomena I course. Unit Operations I is focused on operations involving momentum transfer, such as fluid flow through flow machines, pumps and compressors, and particles fluid dynamics. This work aimed at the construction and operation of equipment as a complementary tool to the training of future chemical engineers who study the course of Unitary Operations I. In the planning and construction of the prototype, they are faced with a problem that requires the use of concepts learned in this specific course and others, preparing them for the future as working professionals. In this work, the impact of the project on student performance is evaluated through a relation between the grades obtained by the students who carried out the project and the final grades of the course.*

Key-words: *Unit Operations I. Prototype. Project. Evaluation. Learning.*