

USO DE ESTRATÉGIA DE APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETO (*PROJECT BASED LEARNING – PjBL*) PARA ENSINO DE CINÉTICA QUÍMICA E REATORES HOMOGÊNEOS

USE OF PROJECT-BASED LEARNING (*PjBL*) STRATEGY FOR TEACHING CHEMICAL KINETICS AND HOMOGENEOUS REACTORS

Mônica Buffara Cecato¹

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v39p230-238.2020

RESUMO

O presente artigo descreve a experiência de implementação de um Projeto de Reator Ideal Homogêneo Isotérmico como estratégia de aprendizagem ativa na disciplina de Cálculo de Reatores I do curso de Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC-PR. O uso desta Aprendizagem Baseada em Projeto (*PjBL*) vem sendo realizado e acompanhado há 3 anos (6 semestres). O projeto permeia a parte teórica da disciplina, seguindo paralelamente os conceitos repassados. Neste artigo é apresentado um comparativo entre as seis vezes que o projeto foi realizado, com diferentes reações químicas e variáveis de processo, resultando em pontos prós e contras e melhorias na estratégia de aprendizagem.

Palavras-chave: reatores homogêneos; cinética química, aprendizagem baseada em projetos; aprendizagem baseada em times; metodologia ativa.

ABSTRACT

This article describes the experience of implementing an Isothermal Homogeneous Ideal Reactor Project as active learning strategy in discipline of Calculation of Reactors I of the course of Chemical Engineering of the Pontifical University Catholic of Paraná – PUCPR. The use of this project-based learning (*PjBL*) has been carried out and followed for 3 years (6 semesters). The project permeates the theoretical part of the discipline, following in parallel with the concepts passed on. A comparison of the six times that the project was performed, with different reactions and process variables, resulting in pros and cons points and optimizations in the learning strategy.

Keywords: homogenous reactors; chemical kinetics, project-based learning; team-based learning; active learning.

INTRODUÇÃO

Apesar de muitos cursos de Engenharia procurarem alternativas para formação do modelo de profissional exigido pelo mercado de trabalho, as universidades ainda mantêm, em

sua maioria, métodos defasados de ensino, com alta carga técnica e sem foco no reforço das competências transversais dos estudantes. Um resultado dessa situação é o alto índice de evasão nos cursos de Engenharia, especialmente em seus períodos iniciais, já que

¹ Professora adjunta do curso de Engenharia Química – Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC-PR; monica@pucpr.br

os estudantes não são estimulados a desenvolver novas habilidades, mas lidam majoritariamente com conteúdo técnicos conceituais, teóricos, sem visualização de sua aplicabilidade, o que gera desmotivação (CARVALHO et al., 2014).

Dessa forma, a educação em Engenharia necessita de novas posturas pedagógicas que permitam a formação de profissionais em sintonia com as novas demandas do mercado de trabalho (SILVEIRA, 2005).

Entre os métodos ativos de aprendizagem, a Aprendizagem Baseada em Projetos (*PjBL*) constitui estratégia que vem sendo amplamente adotada, organizando-se ao redor de projetos. De acordo com a definição corrente, projetos são tarefas complexas, baseadas em questões desafiadoras, ou mesmo problemas, que envolvem os estudantes em sua concepção, solução, tomada de decisão ou atividades investigativas; propicia oportunidade da execução de trabalhos com relativa autonomia segundo cronogramas temporais e culmina com produtos realísticos ou apresentações equivalentes (DU; GRAAFF; KOLMOS 2009).

Reatores químicos e cinética química

O projeto de um reator não é uma questão rotineira e muitas alternativas podem ser propostas para um processo. Um projeto de reator usa informação, conhecimento e experiência de uma variedade de áreas: termodinâmica, cinética química, mecânica dos fluidos, transferência do calor, transferência de massa e análise econômica. A engenharia das reações químicas é a síntese de todos esses fatores com o objetivo de projetar apropriadamente um reator químico (LEVENSPIEL, 2000).

Determinar a taxa de velocidade das reações químicas é a ciência e a arte da cinética química. A cinética química não se preocupa com os processos físicos, apenas com a taxa de transformação de átomos e moléculas de uma forma estrutural para outra (SMITH, 1981).

O engenheiro químico depende de dados do laboratório químico, da planta piloto ou de um reator em grande escala para ajudá-lo em seu trabalho de dimensionamento de reatores. A

partir dessas informações, ele precisa extrair, entre outras coisas, as taxas de velocidade das reações químicas envolvidas, ou seja, a cinética química do sistema. Para isso, ele deve separar os efeitos dos processos físicos dos dados observados, deixando as informações da taxa para a etapa única de transformação química (SMITH, 1981).

OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo foi aplicar técnicas de metodologias ativas de ensino à disciplina de Cálculo de Reatores I do curso de Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC-PR com o intuito de aproximar o estudante da visão realística da execução de um projeto de dimensionamento de um reator homogêneo ideal isotérmico, partindo da tomada de dados experimentais laboratoriais para a determinação da taxa de velocidade de reação (estudo cinético), analisando o efeito da variação da temperatura e a tomada de decisão do tipo de reator mais adequado para o processo.

METODOLOGIA

O projeto adotado para os estudantes da disciplina de Cálculo de Reatores I do curso de Engenharia Química da PUC-PR é realizado ao longo de toda a disciplina com duração de um semestre, permeando as aulas teóricas e os temas de estudo da disciplina. Conforme o plano de ensino vai sendo cumprido, os temas de estudos aplicados em sala de aula de maneira expositiva vão sendo realizados de maneira prática paralelamente ao desenvolvimento do projeto.

A execução deste projeto iniciou-se no 2º semestre de 2016 e é adotada até então, com modificações pontuais de reações e variáveis de processo de um semestre para o outro.

Baseando-se na ementa da disciplina de Cálculo de Reatores I do Projeto Pedagógico do Curso (PPC) de Engenharia Química da PUC-PR de 2013 (Quadro 1) e no Mapa Mental concebido para esta disciplina, com o intuito de

elucidar e ilustrar os tópicos e temas de estudos que são abordados (Figura 1), o projeto é realizado utilizando também as ferramentas de

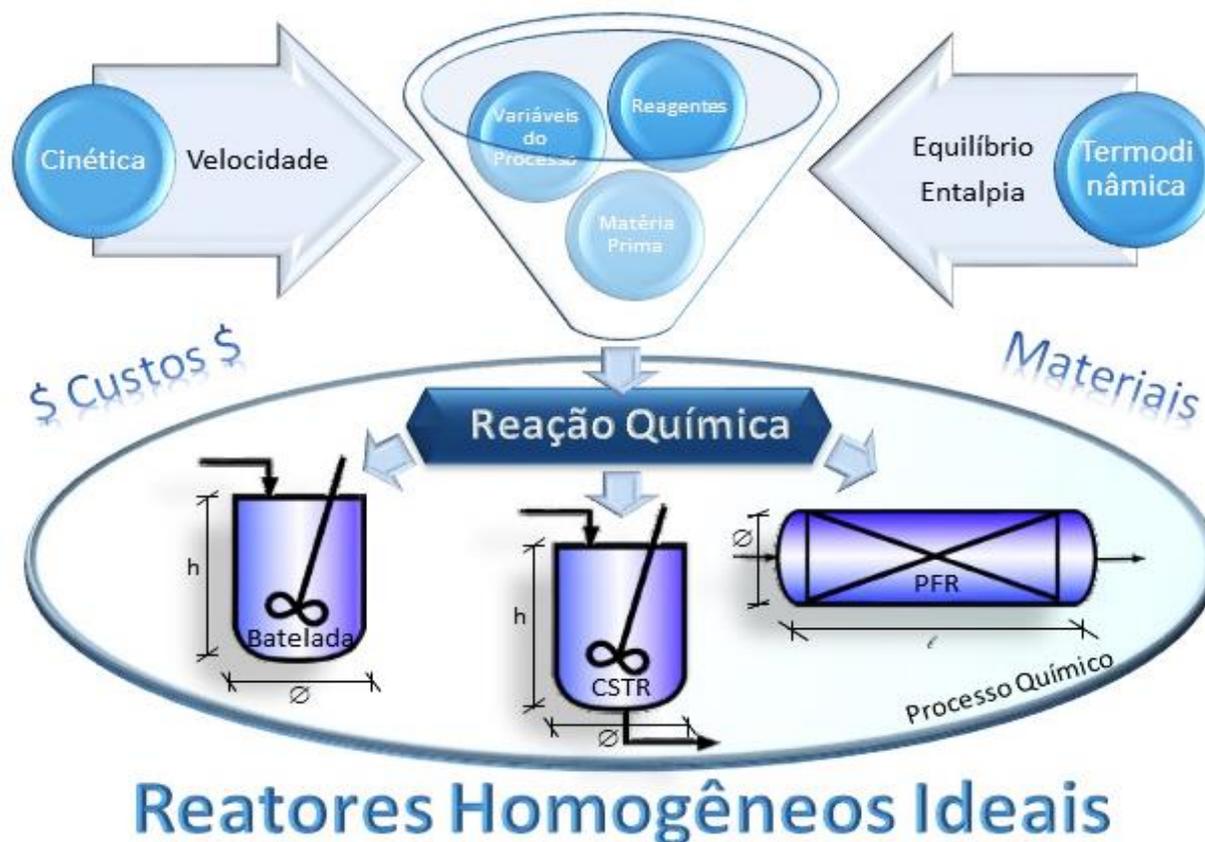
aprendizagem baseadas em pares (*Team Based Learning – TBL*).

Quadro 1 – Ementa da Disciplina de Cálculo de Reatores I

Cálculo de Reatores I é uma disciplina teórica do 7º período do curso de Engenharia Química que visa o dimensionamento de Reatores Químicos Homogêneos Ideais. Ao longo do semestre, os estudantes avaliam as propriedades termodinâmicas e cinéticas das reações químicas presentes em um processo químico industrial e identificam os 3 tipos de reatores existentes: Reator de Batelada, Reator de Mistura Perfeita (CSTR) e Reator Tubular (PFR). No final da disciplina, baseando-se nestas propriedades, o estudante é capaz de projetar os três tipos de reatores, decidindo o melhor reator para uma dada reação química, determinando também as variáveis de processo, a análise de custos e a escolha de materiais.

Fonte: elaborado pela autora (2018).

Figura 1 – Mapa mental da disciplina de Cálculo de Reatores I



Fonte: elaborada pela autora (2018).

A docente da disciplina divide previamente os times em equipes de três a cinco estudantes, cujos membros apresentam características distintas de perfil, de acordo com os dados levantados em uma avaliação diagnóstica realizada através de um questionário *on-line*, com as questões expostas no Quadro 2.

Quadro 2 – Questões da Avaliação Diagnóstica

Qual período está matriculado?
Já cursou esta disciplina?
Idade?
Trabalha ou faz estágio?
Experiência com pesquisa?
Primeiro curso superior?
As pessoas costumam gostar do que escreve?
Tem facilidade para trabalhar em grupo?
Tem perfil de liderança?
Tem facilidade de aprendizado?
Gosta da área acadêmica?
Tem ótima relação interpessoal?
É calmo e tranquilo? Nada te tira do sério?
Se considera um bom aluno?

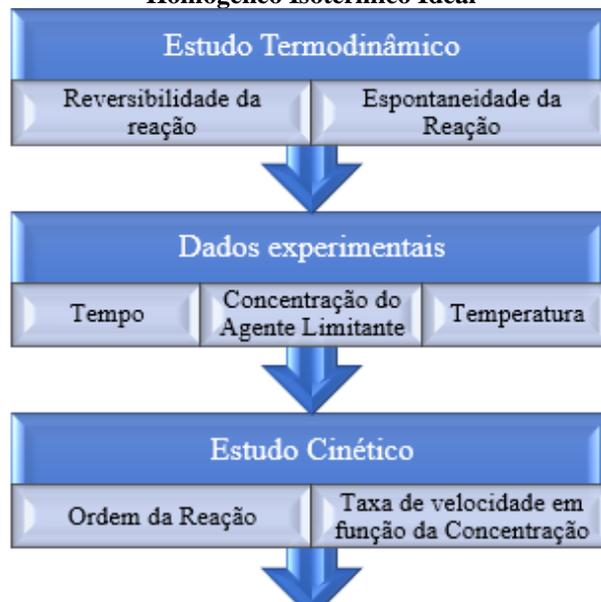
Fonte: elaborado pela autora (2018).

O projeto consiste em várias etapas, entregues separadamente conforme o avanço do aprendizado juntamente com a realização de uma autoavaliação e avaliação dos pares conforme as equipes de TBL.

De uma entrega a outra, a parte anterior do projeto deve ser corrigida, bem como proposto um plano de ação no caso de a avaliação dos pares apresentar resultados insatisfatórios.

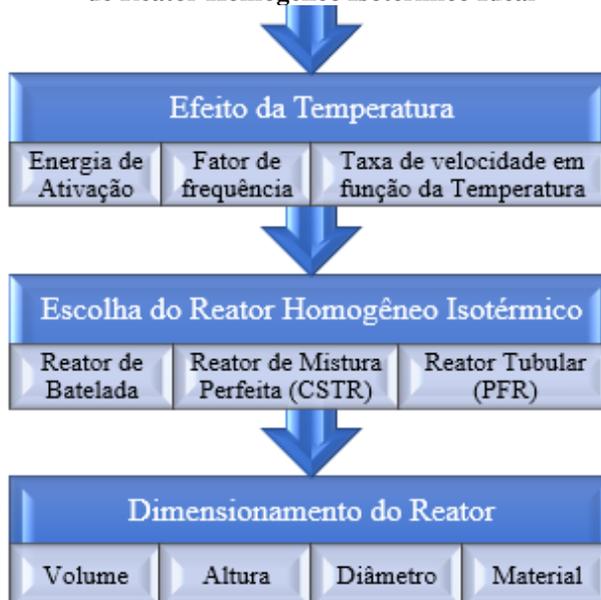
O projeto consta de várias partes, como demonstrado nas Figuras 2 e 3:

Figura 2 – Fluxograma do Projeto de Reator Homogêneo Isotérmico Ideal



Fonte: elaborada pela autora (2018).

Figura 3 – Continuação do Fluxograma do Projeto de Reator Homogêneo Isotérmico Ideal



Fonte: elaborada pela autora (2018).

Estudo termodinâmico

A escolha das condições de um processo químico exige conhecimento das grandezas termodinâmicas e, particularmente, das condições de equilíbrio químico. Antes de determinar a cinética da reação é preciso verificar se a reação é possível. Para reações reversíveis, determina-se a constante de

equilíbrio químico, dependente da temperatura. Com esta constante pode-se prever qual é a máxima conversão de equilíbrio, portanto, a reversibilidade impõe sérias limitações (SCHMAL, 2013). A espontaneidade da reação se dá com altos valores da constante de equilíbrio, visto que esta é uma razão entre as velocidades das reações direta e inversa.

Para o desenvolvimento do projeto, os estudantes realizam um levantamento de dados bibliográficos termodinâmicos como variação da Entalpia (ΔH) e variação da Energia de Gibbs (ΔG) dos reagentes e produtos envolvidos, calculando, assim, ΔH e ΔG da reação em questão.

Os perfis das constantes de Equilíbrio e das Conversões de Equilíbrio são traçados, caracterizando então a reversibilidade e a espontaneidade da reação em relação à variação da temperatura.

Dados experimentais

Uma equação de taxa caracteriza a taxa de reação e sua forma pode surgir por considerações teóricas ou simplesmente pelo resultado de um procedimento empírico de ajuste de curva. Em qualquer caso, os valores das constantes de equação somente podem ser encontrados por experimentos. A determinação da taxa é geralmente feita em duas etapas: primeiro, a dependência para com a concentração é determinada para uma temperatura fixa e então a dependência das constantes de taxa com a temperatura é encontrada, resultando, assim, na equação completa da taxa (LEVENSPIEL, 2000).

O equipamento com o qual as informações empíricas são obtidas normalmente é um reator descontínuo. O reator em batelada é simplesmente um tanque que contém os reagentes enquanto eles reagem. Tudo que precisa ser determinado é a extensão da reação em vários tempos, podendo o procedimento ser feito de diferentes maneiras (LEVENSPIEL, 2000). Na tomada de dados em questão, optou-se por seguir a concentração de um dado componente.

Neste estudo, é utilizado um reator piloto de Batelada (Figura 3), marca *Didacta Itália*,

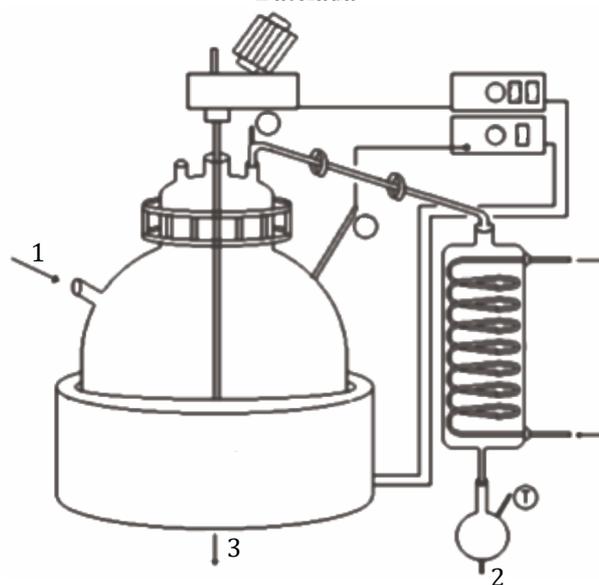
modelo *IC 61D*, com esquema de funcionamento ilustrados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Reator de Batelada



Fonte: acervo da autora – André Ferreira Leonardi (2019).

Figura 5 – Esquema de Funcionamento do Reator de Batelada



1. Alimentação dos Reagentes
2. Saída do Produto Condensado
3. Retirada de Alíquotas da mistura Reacional

Fonte: acervo da autora (2001).

Os reagentes são alimentados no estado mais concentrado possível. Alíquotas da mistura reacional são retiradas de tempo em tempo e o experimento é realizado, no mínimo, em três temperaturas distintas.

De posse das amostras da mistura reacional, é determinada a variação da concentração do agente limitante por algum método de análise quantitativo em relação ao tempo.

Estudo cinético

Com a medida da concentração em função do tempo, a determinação dos parâmetros da lei da velocidade para reações homogêneas é obtida e em seguida utiliza-se os métodos diferencial, integral ou de regressão linear de análise de dados para determinar a ordem da reação e a constante específica de velocidade de reação (FOGLER, 2014).

Chega-se então a três taxas de velocidades de reação homogêneas em função da concentração em três temperaturas diferentes.

Efeito da temperatura

Para muitas reações, e particularmente reações elementares, a expressão da taxa pode ser escrita como um produto entre o termo dependente da temperatura e o termo dependente da composição. Para tais reações, o termo dependente da temperatura, que é a constante da taxa, é bem representado em praticamente todos os casos, pela Lei de Arrhenius em função da Energia de Ativação e do Fator de Frequência da Reação (LEVENSPIEL, 2000).

De posse das três taxas de velocidade em três temperaturas diferentes, é possível o cálculo da Energia de Ativação e do Fator de Frequência, que são propriedades intrínsecas da reação, resultando assim na determinação de uma taxa de velocidade única para a reação em função da temperatura.

Escolha do reator ideal isotérmico homogêneo

Em projeto de reatores, é importante saber a capacidade e o tipo de reator e quais métodos de operação são os melhores para uma dada tarefa. O equipamento em que as reações homogêneas são realizadas pode ser

considerado de três tipos principais: reator descontínuo ou em batelada, reatores contínuos em estado estacionário, reator de mistura perfeita (*Stirred Reactor Tank – CSTR*) ou Reator Tubular (*Plug Flow Reactor – PFR*) (LEVENSPIEL, 2000).

Baseando-se nas características da reação, nas variáveis de processo, conversão requerida e quantidade de produto final fabricado, os discentes escolhem o melhor tipo de reator para o processo e justificam tal escolha embasados na literatura.

Dimensionamento do reator escolhido

Para projetar reatores deve-se fazer os balanços molares e de energia (caso não isotérmico). Esses balanços contêm sempre o termo de geração, devido à reação química pela taxa de reação. Esse balanço pode ser feito para qualquer componente, reagente ou produto da reação (SCHMAL, 2013).

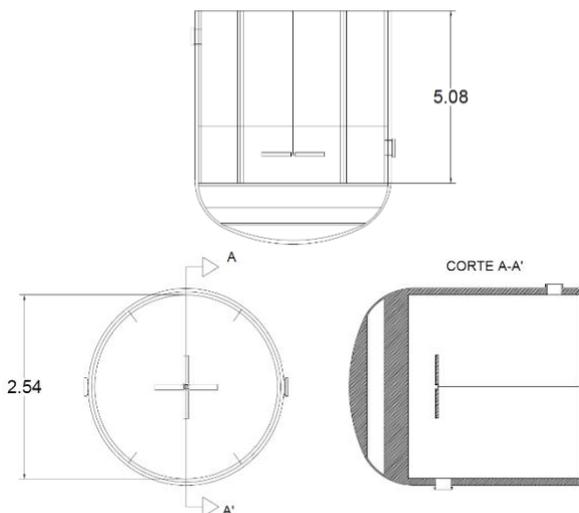
Tratando-se de reações homogêneas, de acordo com o balanço molar realizado e as variáveis de processos adotadas, é possível calcular o volume requerido para o reator escolhido.

Em geral, admite-se um fator de segurança no cálculo do volume do reator. Esse fator é arbitrário e muitas vezes 100% maior (SCHMAL, 2013).

De posse do volume requerido, os discentes dimensionam altura e diâmetro do reator e repassam tais informações através de um desenho técnico ou de uma simulação em *software* 3D, objetivando a demonstração de todos os detalhes do reator escolhido.

Na Figura 5 pode se ver um exemplo de entrega de dimensionamento ocorrido no primeiro semestre de 2019, em que a reação estudada era a produção de Acetona Cianidrina.

Figura 6 – Desenho do dimensionamento de um CSTR projetado para a produção de Acetona Cianidrina



Fonte: acervo da autora – Ana Flávia Lessa, Gabriela Pierri, Guilherme Mansur, Nathalia Machado e Susanna Farias (2019).

RESULTADOS

Conforme mencionado anteriormente, o projeto foi adotado como avaliação curricular no 2º semestre de 2016. As reações foram sendo modificadas ao longo do tempo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Reações adotadas no projeto de Reatores Homogêneos ao longo de 3 anos

2º Semestre de 2016

Acetato de Etila pela esterificação do ácido Acético e Álcool Etilíco;

1º Semestre de 2017

Acetato de Etila pela Hidrólise do Acetato de Sódio;

2º Semestre de 2017

Acetato de Sódio via reação de saponificação entre o Acetato de Etila e a Soda Cáustica;

1º Semestre de 2018

Acetato de Etila pela esterificação do ácido acético e Álcool Etilíco;

2º Semestre de 2018

Acetona Cianidrina por acidificação de Acetona com Ácido Cianídrico;

Ácido Acético pela hidrólise do Anidrido Acético;

Ácido Propiônico por acidificação de Propionato de Sódio com Ácido Clorídrico;

Bisulfeto de Carbono por vaporização de Enxofre em Metano;
Acetato de Sódio por saponificação do Acetato de Metila com Soda Caustica;
Dimetil éter pela desidratação do Metanol;
Etileno Glicol pela Hidratação do Óxido de Etileno;

1º Semestre de 2019

Produção de Acetona Cianidrina a partir de Acetona e Ácido Cianídrico;

2º Semestre de 2019

Produção de Acetato de Sódio via reação de saponificação entre o Acetato de Etila e a Soda Cáustica;

Fonte: elaborada pela autora (2019).

Na primeira vez que o projeto foi implementado, de agosto a novembro de 2016, utilizou-se uma única reação para todas as equipes. A professora fixou valores de produção do produto desejado e conversão também única. A variação deu-se nos valores das temperaturas de operações isotérmicas, uma vez que cada equipe recebeu uma temperatura de trabalho. Os dados cinéticos foram determinados experimentalmente para uma única temperatura e comparados com dados da literatura para determinação do efeito da temperatura sobre a taxa de velocidade de reação. Os projetos apresentaram uma equidade de parâmetros e valores que, com o passar do tempo, não se mostraram favoráveis.

Na segunda implementação, de fevereiro a junho de 2017, cada equipe determinou os seus dados experimentais, o que diversificou as respostas obtidas para o projeto. Naquele semestre, a reação escolhida, que é por natureza não espontânea, resultou em dificuldades de cálculos de equilíbrio químico e conversão.

Na implementação da reação de saponificação do acetato de sódio realizada no 2º semestre de 2017, os dados experimentais não foram determinados no reator piloto de batelada, mas sim em laboratório de química com vidraria e pouca mistura reacional.

A esterificação do ácido acético foi novamente utilizada no primeiro semestre de 2018. Naquele projeto não houve tomada de dados experimentais, a professora disponibilizou dados da literatura em diferentes temperaturas para a realização dos cálculos.

No 2º semestre de 2018, cada equipe recebeu uma reação diferente, com dados da literatura, sem tomada de dados experimentais. Isso gerou um trabalho volumoso do ponto de vista de devolutivas aos alunos.

A reação de produção de Acetona Cianidrina foi escolhida para o semestre seguinte por ser uma reação que pode ocorrer tanto na fase líquida quanto gasosa. O estado no qual a reação aconteceria era uma tomada de decisão dos alunos, bem como produção e conversão adotados. Notou-se uma maior autonomia de escolha de processo.

No 2º semestre de 2019 optou-se pela reação de Saponificação do Acetato de Sódio com tomada de dados experimentais por cada equipe e decisão dos parâmetros de temperatura, conversão e produção baseados nos processos reais. Com isso, espera-se que cada grupo siga uma rota de raciocínio.

CONCLUSÕES

A execução do projeto de Reator Químico Ideal Homogêneo Isotérmico paralelamente às aulas ministradas de forma expositiva trouxe para a disciplina um olhar mais prático na formação do discente.

O projeto trouxe autonomia para os alunos, que precisaram realizar pesquisa de dados da literatura e tomada de decisões.

O projeto proporcionou a possibilidade de os alunos trabalharem em TBL, acarretando um amadurecimento nas relações interpessoais.

Foi possível verificar a consolidação de conceitos aprendidos anteriormente à disciplina, tal como o Equilíbrio Químico, estudado em Termodinâmica, e a execução da prática experimental laboratorial para a extração dos dados cinéticos, o que fez com que os estudantes visualisassem e absorvessem mais os conceitos de velocidade de reação e cinética química.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada financeiramente pela Financiadora de Estudos e Projetos –

FINEP e desenvolvida em um projeto de formação docente conduzido pelo Centro de Ensino e Aprendizagem – CrEAre da PUC-PR.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, D. A. et al. A estratégia PjBL no século XXI: utilização das ferramentas digitais. **Revista Engenharia Viva** 1; 2014.
- DU, X., GRAAFF, E., KOLMOS, A. **Research on PBL Practice in Engineering Education**. Sense: Rotherdam, 2009.
- FOGLER, H. S. **Cálculo de Reatores: o essencial de Engenharia das Reações Químicas**. LTC: Rio de Janeiro, 2014.
- LEVENSPIEL, O. **Engenharia das Reações Químicas**. 3ª ed. Edgard Blücher: Rio de Janeiro, 2000.
- SCHMAL, M. **Cinética e Reatores, aplicação na Engenharia Química**. 2ª ed. Synergia: Rio de Janeiro, 2013.
- SILVEIRA, M. A. A. **Formação do Engenheiro Inovador: uma visão internacional**. Sistema Maxwell, PUC, Rio de Janeiro, 2005.
- SMITH, J. M. **Chemical Engineering Kinectis**. 3ª ed. New York: McGraw-Hill, 1981.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Mônica Buffara Cecato possui graduação em Engenharia Química pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2002) e mestrado em Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal do Paraná (2009). Atualmente é professora adjunta da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Reatores Homogêneos, Óleos e Polímeros.