



**Impactos das
Tecnologias na
Engenharia Química**

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

Atena
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

134	Impactos das tecnologias na engenharia química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-237-1 DOI 10.22533/at.ed.371190304 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
-----	--

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Inovações tecnológicas surgem a todo o momento, em todo o mundo, sendo utilizadas como uma ferramenta estratégica para manutenção e crescimento dos negócios nas indústrias. A Engenharia Química foi uma das carreiras que mais contribuiu para a evolução da Era Industrial para a Era Moderna.

A preocupação em desenvolver produtos e processos de produção torna a Engenharia Química responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características.

A Engenharia Química trabalha com a manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementando processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

Neste primeiro volume, organizado para você, apresentamos o papel do Engenheiro Químico no mercado de trabalho, pois este aplica conhecimentos adquiridos no estudo de Química e de Engenharia para criar soluções voltadas à produção ou ao uso de substâncias químicas. É o profissional que constrói um elo entre a ciência e a manufatura. Cabe ao engenheiro químico lidar com a formulação e a solução de problemas associados à indústria química, bem como trabalhar na operação e manutenção de sistemas. Também são expostos, neste volume, trabalhos relacionados ao ensino teórico e prático de Engenharia Química.

Além disso, encontram-se trabalhos relacionados com aplicações estatísticas, simulações e otimização de processos para melhoria de utilização de produtos e subprodutos. Assim como são expostos trabalhos de caracterização de materiais e alterações em processos químicos utilizando novas técnicas de análise de produto, avaliando comportamento, característica de sistemas, propriedades físico-químicas e alteração de composição de produtos já utilizados no mercado.

Baseado nestes trabalhos, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, processos e técnicas na área, mostrando o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O PAPEL DO ENGENHEIRO QUÍMICO NO MERCADO DE TRABALHO: PRODUÇÃO DE UM GUIA PRÁTICO DIGITAL DESTINADO AOS GRADUANDOS E DEMAIS INTERESSADOS NA PROFISSÃO	
Raphael Carlos Rosa Pereira Eder Dias da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3711903041	
CAPÍTULO 2	8
GAMEQ: JOGO PARA O ENSINO NA ENGENHARIA QUIMICA	
Riccardo Cafagna Miguel do Valle Fróes Negreiros Falcão Felipe Emmanouil Martires Stamoglou Ana Lucia Barbosa de Souza Ewerton Emmanuel da Silva Calixto Fernando Luiz Pellegrini Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.3711903042	
CAPÍTULO 3	17
ELABORAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PROTÓTIPO DE REATOR CSTR CONSTRUÍDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO VOLTADO À EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Sauro Franceschi de Carvalho Emeson de Souza Lemos Kevelyn Carolina Motta Sbravati	
DOI 10.22533/at.ed.3711903043	
CAPÍTULO 4	27
PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE MÓDULO CONTÍNUO A PARTIR DE MATERIAIS DE BAIXO CUSTO COMO IMPLEMENTAÇÃO DO ENSINO EXPERIMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Igor Moraes Bezerra Calixto Sauro Franceschi de Carvalho Matheus Macedo Teixeira Rafaela Misseia Cinque de Lima Marco Antônio de Alcântara Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.3711903044	
CAPÍTULO 5	36
O SIMULADOR DO FUTURO APLICADO À INDÚSTRIA	
Fernanda Martins	
DOI 10.22533/at.ed.3711903045	
CAPÍTULO 6	43
TERMODINÂMICA QUÍMICA – COMPREENDENDO DE FORÇAS INTERMOLECULARES A COEFICIENTE DE ATIVIDADE	
Lisandra Ferreira de Lima Admilson Lopes Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3711903046	

CAPÍTULO 7 53

DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO DE SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS (DES) EMPREGANDO A CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Helena Pletsch
Mariana Carolina Gipiela Corrêa Dias
Marcos Rogério Mafra

DOI 10.22533/at.ed.3711903047

CAPÍTULO 8 59

ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR TÉCNICAS ESTATÍSTICAS APLICADAS A SISTEMAS DE BOMBEAMENTO HIDRÁULICO

Rebeca Albino de Jesus
Ezequiel José da Silva Honorato
Fábio George Nogueira Cruz
José Nilton Silva

DOI 10.22533/at.ed.3711903048

CAPÍTULO 9 73

COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS POR TUBO DE PITOT E POR SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ANSYS CFX

Victor Felipe Arthur Coutinho Ladeia
Rosilanny Soares Carvalho
Anna Clara Marques de Queiroz
João Carlos Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.3711903049

CAPÍTULO 10 80

ENGENHARIA DE PROCESSOS: DIMENSIONAMENTO, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SISTEMAS DE EVAPORAÇÃO MÚLTIPLO EFEITO DE INDÚSTRIAS DE CELULOSE *KRAFT*

Jamilly Marques Gasparoni
Cássia Regina Santos Nunes Almeida
Gustavo Matheus de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.37119030410

CAPÍTULO 11 96

PROJETO DE HIDROCICLONES USANDO OTIMIZAÇÃO ROBUSTA E ESTUDO DO EFEITO DA ROBUSTEZ

Vitor Alves Garcia
Fran Sérgio Lobato
Luiz Gustavo Martins Vieira

DOI 10.22533/at.ed.37119030411

CAPÍTULO 12 111

SELEÇÃO DE VARIÁVEIS E CONTROLE DE COMPOSIÇÃO POR INFERÊNCIA DE TEMPERATURA EM PROCESSO PRODUTIVO DO ETILBENZENO

Arioston Araújo de Moraes Júnior
Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas
Paulo Romero de Araujo Mariz
Emanuella Francisca de Lacerda Vieira
Marcelo da Silva Pedro
Jonas Laedson Marinho da Silva Santos

DOI 10.22533/at.ed.37119030412

CAPÍTULO 13	119
INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE PH, TEMPERATURA E TEMPO DE VAPORIZAÇÃO NO PROCESSO DE TINGIMENTO DE TECIDOS	
Wanyr Romero Ferreira Wilson Costa Resende Aline Pereira Leite Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.37119030413	
CAPÍTULO 14	128
ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA	
Renata de Oliveira Marinho Marcelo Batista Queiroz Eudesio Oliveira Vilar Márcia Cristina de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.37119030414	
CAPÍTULO 15	140
EFEITO DA DENSIDADE DE CORRENTE NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE Co-W OBTIDOS POR ELETRODEPOSIÇÃO	
Arthur Filgueira de Almeida Bianca Oliveira Evaristo Josiane Dantas Costa Mikarla Baía de Sousa Nathália Cristina Morais Lia Fook Renato Alexandre Costa de Santana Ana Regina Nascimento Campos	
DOI 10.22533/at.ed.37119030415	
CAPÍTULO 16	148
FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO E REDE NEURAL ARTIFICIAL NA ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO EM UM REATOR QUÍMICO NÃO ISOTÉRMICO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Marcelo da Silva Pedro Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Jonas Laedson Marinho da Silva Santos Rodrigo Marinho Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.37119030416	
CAPÍTULO 17	153
COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO	
Guilherme Colla Vinícius Heidemann de Souza Fernanda Vieira Berti Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030417	

CAPÍTULO 18	160
IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA	
Ana Carolina Jorge Meyer Emily Marques dos Reis Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030418	
CAPÍTULO 19	167
CENTRIFUGATION STEP CONTROL OF CELLULOSE NANOCRYSTALS SUSPENSION BY pH AND TURBIDITY MEASUREMENTS	
Mayara Felix Santana Bárbara Castro Moreira Flávia Mitsue Yamashita Nilda de Fátima Ferreira Soares José Mauro de Almeida Alvaro Vianna Novaes de Carvalho Teixeira Deusanilde de Jesus Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030419	
CAPÍTULO 20	173
ESTUDO TERMODINÂMICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE CRISTAL VIOLETA EM NANOTUBOS DE CARBONO FUNCIONALIZADOS	
Leonardo Martins Vargas Gabriel Facciochi Dörtzbacher Guilherme Luiz Dotto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030420	
CAPÍTULO 21	181
ESTUDO DA REOLOGIA E DA SALINIDADE DE MICROEMULSÕES À BASE DE GLICERINA PARA SEREM UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO	
Amanda Brito de Carvalho Fabiola Dias da Silva Curbelo Elayne Andrade Araújo Alfredo Ismael Curbelo Garnica	
DOI 10.22533/at.ed.37119030421	
CAPÍTULO 22	196
ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILAS BENTONÍICAS PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE MICROEMULSIONADA	
Renata Rodrigues Magalhães Roxana Pereira Fernandes de Sousa Alfredo Ismael Curbelo Garnica Fabiola Dias da Silva Curbelo Thaine Taumaturgo Caminha	
DOI 10.22533/at.ed.37119030422	

CAPÍTULO 23	201
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E VOLUMÉTRICAS DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO E DO BIOQUEROSENE	
<p>Idila Rafaela Carvalho Gonçalves Ana Clara Cazarin Queiroz Luciana Loureiro de Pinho Rolemberg de Andrade Silvia Maria Zanini Sebrão Krishnaswamy Rajagopal</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030423	
CAPÍTULO 24	210
AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE TINTAS ACRÍLICAS COMERCIAIS E ADITIVADAS COM CARGA CONDUTORA	
<p>Alex da Silva Sirqueira Monica Cristina dos Santos Vieira Monica Feijó Naccache Stanley Pires de Alcântara</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030424	
CAPÍTULO 25	222
EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	
<p>Gabryella Cerri Mendonça Cristiano Corrêa Ferreira</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030425	
CAPÍTULO 26	232
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS PARTICULADOS: DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE FERTILIZANTES GRANULADOS NA ESTAGNAÇÃO DE AR	
<p>Hugo Perazzini Maisa Tonon Bitti Perazzini Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes João Marcos Cardoso Silva</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030426	
CAPÍTULO 27	248
DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL	
<p>Raquel de Oliveira Silva Ana Paula Silva Capuci Raíssa Araújo de Oliveira Campos Ricardo Amâncio Malagoni</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030427	
CAPÍTULO 28	255
CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO COM ALTAS VAZÕES E VISCOSIDADES ELEVADAS: UMA ALTERNATIVA TÉCNICA À LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE ROYALTIES E PARTICIPAÇÕES ESPECIAIS	
<p>Carlos Eduardo Ribeiro de Barros Barateiro Romulo Carlos da Silva Emerik</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030428	
SOBRE A ORGANIZADORA	271

ELABORAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PROTÓTIPO DE REATOR CSTR CONSTRUÍDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO VOLTADO À EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Cristiane Daliassi Ramos de Souza

Universidade Federal do Amazonas,
Departamento de Engenharia Química
Manaus - AM

Sauro Franceschi de Carvalho

Universidade Federal do Amazonas,
Departamento de Engenharia Química
Manaus - AM

Emeson de Souza Lemos

Universidade Federal do Amazonas,
Departamento de Engenharia Química
Manaus - AM

Kevelyn Carolina Motta Sbravati

Universidade Federal do Amazonas,
Departamento de Engenharia Química
Manaus - AM

RESUMO: Este projeto teve como objetivo melhorar a qualidade do ensino dos alunos que futuramente cursarão a disciplina de Cinética e Reatores, bem como de fortalecer os conhecimentos adquiridos na disciplina aliadas a capacidade adquirida em Controle e Automação de Processos. Desta forma, desenvolveu-se um protótipo com materiais de baixo custo com acionamento e controle de temperatura automatizados utilizando Arduino. A construção deste tipo de equipamento, além de proporcionar grande experiência aos alunos, permitiu também facilitar a didática para as

futuras turmas, permitindo assim a visualização de fenômenos pertinentes ao reator CSTR.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de Ensino; Cinética e Reatores; Controle e Automação.

ABSTRACT: The aim of this project was to improve the teaching quality of students who will attend Kinetics and Reactors in the future, as well as to strengthen the knowledge acquired in the discipline, together with the acquired ability in Process Control and Automation. In this way, a prototype was developed with low-cost materials with automated drive and temperature control using Arduino. The construction of this type of equipment, besides providing great experience to the students, also facilitated the didactics for the future classes, thus allowing the visualization of phenomena pertinent to the CSTR reactor.

KEYWORDS: Teaching Quality; Kinetics and Reactors; Control and Automation.

1 | INTRODUÇÃO

O reator “CSTR” (Continuous Stirred Tank Reactor) é um tanque de mistura perfeita, usado principalmente para reações em fase líquida, normalmente operado em estado estacionário, a temperatura, concentração e a velocidade de reação não dependem do tempo e nem da

posição dentro do reator (FOGLER, 2009).

O controle de processos químicos é um fator determinante para o bom desempenho de toda uma planta e o seu sucesso vai depender do desenvolvimento de uma estrutura de controle adequada. No meio industrial, o CSTR é amplamente utilizado em processos que normalmente ocorrem em estado estacionário e de forma não isotérmica, sendo processadas grandes quantidades de carga. Entretanto, pouca atenção é dada à etapa de partida do reator. As equações de projeto do CSTR recaem em sistemas complexos de equações algébricas e diferenciais, o que torna uma resolução trabalhosa por meios analíticos, quando existem.

Sendo assim, o uso de recursos computacionais é uma poderosa ferramenta para se avaliar o comportamento dinâmico do sistema durante a partida do reator e as melhores condições de operação em estado estacionário. O processo avaliado é de uma mistura perfeita e uma questão importante é que o reator pode atingir momentaneamente temperaturas muito elevadas antes de atingir o estado estacionário, o que resulta em perdas consideráveis de reagente por evaporação, daí a necessidade de se avaliar a dinâmica da partida do reator.

Há muitos fatores que podem exercer influência em um processo com reação química, como por exemplo, a temperatura, pressão, energia de ativação, concentração dos reagentes, a energia cedida ou retirada pela reação ($\Delta H_{\text{reação}}$), entre outros. Neste trabalho, serão avaliados como as condições iniciais de temperatura que interferem na dinâmica da reação, verificando assim se existe algum intervalo do processo onde a reação se torne inviável (como por exemplo, aumento excessivo da temperatura causando vaporização de reagente).

O livro “Elementos de Engenharia das Reações Químicas” (Fogler, 2002) tem se destacado como livro-texto predominante no ensino de Cinética e Cálculo de Reatores. Uma das suas características mais interessantes é a apresentação do autor ao tratar de exemplos e problemas, com o emprego de ferramentas computacionais no auxílio da operação de reatores, ressaltando que o estudo deste tipo de processos tem relevância para muitos processos nas indústrias.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O modelo do CSTR opera continuamente e adota a hipótese de que ocorre mistura uniforme em todo o seu conteúdo, então, seu fluido de saída apresenta as mesmas propriedades de seu conteúdo.

A equação de balanço de massa dos reatores, pode ser considerada pela hipótese da mistura perfeita, desta forma, todos os elementos da variação de volume do reator possuem as mesmas condições de reação, ou seja, a mesma taxa. Além disso, considera-se que não ocorre acúmulo de substância no interior do equipamento, pois trata-se de um reator em regime permanente (FOGLER, 2002).

Os sistemas de controle automático na indústria operam em paralelo à linha de

produção e são utilizados para coordenar, monitorar, alterar e registrar as condições de máquinas, produtos e processos. Têm como principais requisitos, e que devem ser atendidos simultaneamente, a minimização da intervenção humana, a manutenção de condições de segurança operacional e a garantia de respostas em tempo real.

Na automação de um processo produtivo é necessário empregar dispositivos mecânicos, elétricos e eletrônicos que desempenhem funções equivalentes às humanas nas atividades de supervisão e controle, tais como coleta e análise de dados e correção de rumos.

Foram desenvolvidos os sensores ou instrumentos de medição, que medem e informam os dados sobre o andamento do processo. Também foram criados dispositivos denominados controladores, que recebem e processam as informações fornecidas pelos sensores, calculando as medidas a adotar e emitindo instruções para os atuadores.

Esses são dispositivos que corrigem variações detectadas por outros dispositivos ou alteram as respostas do processo. O controlador é um dispositivo que monitora e pode alterar as variáveis de saída de um sistema dinâmico por meio do ajuste das variáveis de entrada do sistema. Por essa razão, as variáveis de saída recebem o nome de controladas e as variáveis de entrada são chamadas de manipuladas. Podem ser variáveis, seja de entrada ou de saída, temperatura, pressão, nível, vazão, densidade, tempo, velocidade, potência, tensão (elétrica), corrente, frequência, estado (ligado ou desligado), peso, dimensão e posição.

Um conceito básico na teoria de controle é o de malha fechada, com realimentação (feedback), na qual a variável de saída é realimentada ao controlador. Este compara o nível da saída com o valor de referência definido (set point) e, em função da diferença (erro), aumenta ou diminui o valor da entrada, até que o valor da saída alcance o valor ideal. Casos imprevistos são detectados e tratados pelo controlador, porém, caso haja um desvio muito grande do valor de referência, pode ser necessário um certo tempo para que seja recobrado o equilíbrio do sistema.

2.1 Variáveis de estado e Funções de transferência no CSTR

Através da linearização das equações do CSTR por expansão em Série de Taylor, temos que das variáveis de entrada no modelo, a vazão de refrigerante pode ser manipulada, e é representada da seguinte forma:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} C_A \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{13} \\ c_{24} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_A \\ T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ c_{25} \end{bmatrix} F_c + \begin{bmatrix} c_{12} & 0 & c_{14} \\ 0 & c_{23} & c_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{Aent} \\ T_{ent} \\ F \end{bmatrix} \quad (1)$$

A Equação abaixo representa o Modelo em Variáveis de Estado do reator:

$$\dot{x} = Ax + Bx + Ep \quad (2)$$

Onde:

x – vetor de variáveis de estado

u – vetor de variáveis de controle

p – vetor de perturbações

A – matriz dinâmica (2x2)

B – matriz de controle (2x1)

E – matriz de perturbações (2x3)

Para fins de projeto de controle, as funções de transferência de interesse são as que relacionam entradas (controle ou perturbações) e saídas dos instrumentos (lidas pelos sensores).

Uma Função de Transferência corresponde à relação de transformação entre a saída, medida em y , e a entrada (u ou p), expressa em números complexos, s . A transformação da relação do domínio do tempo para o domínio complexo é extremamente útil para operações matemáticas.

No caso em análise, admitamos que as perturbações sejam nulas, o que reduz o sistema de equações a:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (3)$$

$$y = Cx \quad (4)$$

Aplicando a Transformada de Laplace nas equações 3 e 4, em ambos os lados temos:

$$sIX(s) = AX(s) + BU(s) \quad (5)$$

$$Y(s) = CX(s) \quad (6)$$

Observando a equação 5 teremos:

$$(sI-A)X(s) = BU(s)$$

$$X(s) = (sI-A)^{-1} BU(s) \quad (7)$$

Substituindo o resultado da equação 7 na equação 6 teremos:

$$Y(s) = C(sI-A)^{-1} BU(s) \longrightarrow \frac{Y(s)}{U(s)} = C(sI-A)^{-1} B \quad (8)$$

A expressão anterior (eq. 8) contém uma ou mais funções de transferência entre as entradas de controle e as variáveis medidas.

No caso do CSTR, supondo que as duas variáveis de interesse, concentração C_A e temperatura T , sejam medidas, duas FT's serão geradas:

$$G_1(s) = \frac{C_A(s)}{F_c(s)}, G_2(s) = \frac{T(s)}{F_c(s)} \quad (9)$$

Kerrekidis (1986) estudou a resposta de um CSTR com uma reação temperatura do tipo $A \sim B$, para do fluido refrigerante. As perturbações periódicas na amplitude e a frequência das oscilações foram usadas como parâmetros de controle.

As condições de operação foram escolhidas de forma que o sistema, operando sem nenhuma perturbação, mantivesse uma oscilação estável. Para isto, utilizou-se de vários algoritmos baseados em métodos de tentativa e erro na obtenção dos valores das condições iniciais, e algoritmos apropriados para obter estes valores através de simulação. Estes algoritmos parecem ser ferramentas indispensáveis na sistemática de estudos de reatores operados periodicamente.

3 | METODOLOGIA

3.1 Equipamentos utilizados para a construção do protótipo

- Painel de madeira
- 3 Tanques de plástico
- 3 Torneiras
- Mangueira para ligação entre os tanques
- 2 Bombas (peristáltica e solenóide)
- Motor elétrico (de ventilador)
- Hélice
- Resistência elétrica 4500 Western (Aquecedor de água)

3.2 Equipamentos utilizados para o controle do protótipo

- Arduino PRO MICRO
- 2 Retificadores Diodo 1N4007
- 2 Resistores
- 2 Transistores TIP 125
- 2 módulos relé
- Protoboard 400 furos
- Sensor de temperatura DS18B20

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Etapas de construção do protótipo

Primeiramente, foi elaborado um esquema para a construção do protótipo, conforme é apresentado na Figura 1.

Em seguida, iniciou-se a montagem acoplando as torneiras nos três tanques de plástico. Depois as válvulas foram verificadas para que não houvesse vazamentos nos tanques. Após isso, acoplaram-se as bombas entre os tanques através das mangueiras.

A etapa seguinte foi para a fixação do motor com hélice ao painel de madeira e adição do aquecedor e sensor ao tanque principal (reator CSTR). A Figura 2 mostra o módulo após a construção com os respectivos acessórios identificados.

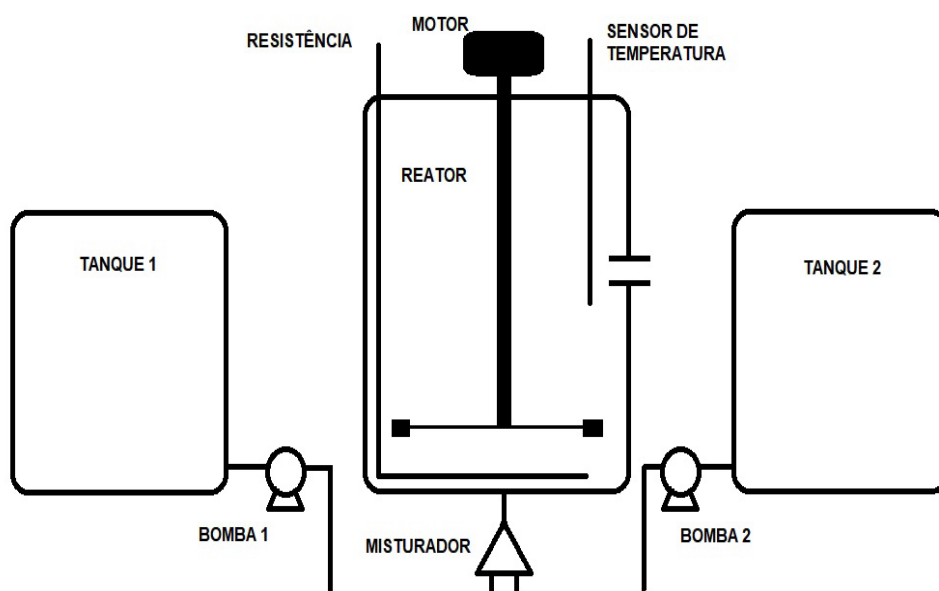


Figura 1. Esquema do protótipo do Reator CSTR.

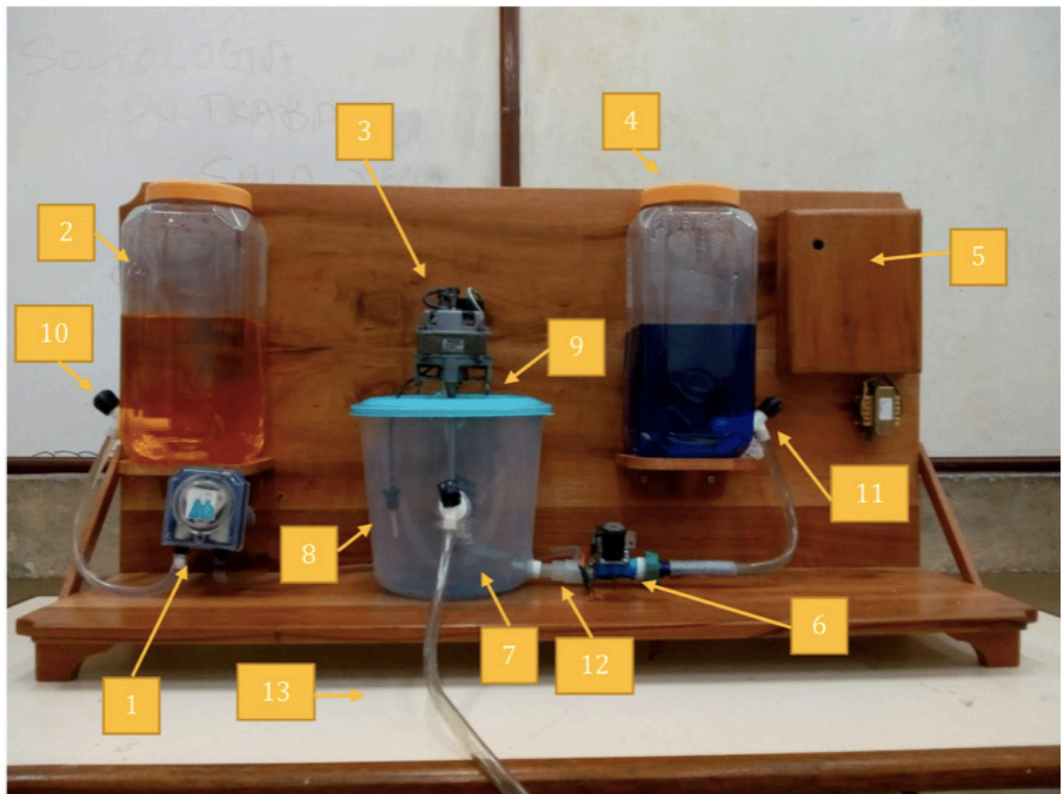


Figura 2. Módulo de Reator CSTR com indicativo de equipamentos.

Onde:

- 1 - Bomba 1
- 2 - Tanque 1
- 3 - Motor
- 4 - Tanque 2
- 5 - Painel de Controle
- 6 - Bomba 2
- 7 - Reator CSTR
- 8 - Termostato
- 9 - Resistência
- 10 - Válvula tanque 1
- 11 - Válvula Tanque 2
- 12 - Misturador e Entrada no Reator
- 13 - Saída

4.2 Script

A seguir apresentamos o script desenvolvido e aplicado ao protótipo:

```
int temp = 0;
int setTemp = 0;
int tol = 2;
int comando = 0;
```



```

int releTemp = 4;
int releSolenoid = 5;
int releB = 6;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Digite a temperatura: ");
  pinMode(releTemp,OUTPUT);
  pinMode(releB,OUTPUT);
  pinMode(releSolenoid,OUTPUT);
}
void loop() {
  if(Serial.available()){
    comando = Serial.parseInt();
  }
  if(comando > 4){
    setTemp = comando;
  }
  if(temp <= setTemp - tol){
    digitalWrite(releTemp, HIGH);
  }
  if(temp >= setTemp){
    digitalWrite(releTemp,LOW);
  }
  if(comando == 1){
    digitalWrite(releSolenoid,HIGH);
  }
  if(comando == 2){
    digitalWrite(releSolenoid,LOW);
  }
  if(comando == 3){
    digitalWrite(releB,HIGH);
  }
  if(comando == 4){
    digitalWrite(releB,LOW);
  }
}
}

```

4.3 Funcionamento

Inicialmente a temperatura desejada de trabalho é inserida na interface do notebook conectado a placa arduino, observando o limite suportável pelo material constituinte do reator. Desta forma, a temperatura é controlada por módulo relé, sendo monitorada através da leitura efetuada pelo termostato, desejável ao reator, com uma faixa de erro de 5%.

Ao atingir a temperatura desejada o relé desligará a resistência. Quando o sensor indicar que a temperatura está fora da faixa desejável o relé será novamente acionado.

No que tange o acionamento das bombas, ao inserir, pelo teclado do notebook ligado a placa arduino, o numeral 1 (um) a bomba 1, é acionada, e estacionada pelo numeral 2 (dois). De forma semelhante, a bomba 2, é acionada pelo numeral 3 (três) e estacionada pelo numeral 4 (quatro).

5 | CONCLUSÃO

A construção e automação do protótipo do reator CSTR, desenvolvido neste projeto, se mostrou uma ferramenta didática bastante útil para o ensino de Engenharia Química no que diz respeito à cinética de funcionamento para este equipamento. Através do protótipo também foi possível observar e avaliar os principais constituintes de um CSTR, tais como o tanque “reator”, os tanques de reagentes, as bombas, o sensor de temperatura, entre outros.

Em relação à disciplina *Controle e Automação de Processos*, esse protótipo é um bom exemplo de como automatizar de forma simples um processo em Engenharia Química, apresentando uma visão mas prática de alguns sistemas de controle utilizados para facilitar o monitoramento de alguns parâmetros do reator.

Portanto, o projeto desenvolvido provou ser, sem dúvidas, uma boa ferramenta didática para a educação e inclusão dos alunos nas disciplinas de *Cinética e Reatores e Controle e Automação de Processos*.

Contudo, algumas melhorias podem ser implantadas no projeto para prospecções futuras, como por exemplo, alterar os modelos das bombas para que assim, possam ser implantados sistemas de controle de vazão e com isso obter melhores resultados.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Pró-Reitoria de Extensão (PROEXT) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de Controle Modernos**. 8ª ed., LTC, 2001.

FOGLER, H. S. **Elementos de Engenharia das Reações Químicas**, 3ª ed., LTC, 2002.

LEVENSPIEL, O. **Engenharia das Reações Químicas**. 3ª ed., Edgard Blücher Ltda., 2000.

NISE, N. S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. 3ª ed., LTC, 2002.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5ª ed., Pearson, 2010.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-237-1

