

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA QUÍMICA 2**



**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA QUÍMICA 2**



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia química 2 /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-536-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.362212610>

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel  
da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa - Paraná - Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

O e-book intitulado: “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Química 2” é constituído por dezoito capítulos de livros que foram organizados em quatro áreas temáticas: *i*) utilização de adsorventes para remoção de Contaminantes de Interesse Emergente (CIE) em diferentes matrizes aquosas; *ii*) produção de biodiesel e bio-óleo a partir de biomassa ou reutilização de óleo de fritura; *iii*) análise de recuperação avançada de petróleo por injeção de gás carbônico ou polímeros e práticas de gestão para exploração de petróleo e gás natural e *iv*) aplicações diversas.

O primeiro tema é composto por 50% dos capítulos de livros presente no e-book, apresentando trabalhos utilizando biomassas de origem vegetal para remoção da turbidez presente em efluentes oleosos e metais em águas residuárias e industriais; remoção de nitrogênio amoniacal e o fármaco ivermectina utilizando o carvão ativado, respectivamente, *in natura* e funcionalizado com grafeno; aplicação de surfactantes não-iônicos para reduzir a dissolução de carbonatos e a redução do consumo de água em processo de bradagem; a apresentação de um método analítico para quantificar a presença de Bisfenol A em águas superficiais, um estudo de revisão da literatura que mostra a qualidade dos recursos hídricos em vários países e a presença da diversidade e quantidade dos CIEs nas matrizes aquosas e a caracterização físico-química da farinha de Inhame obtida pelo processo de atomização. A segunda temática apresenta dois estudos que investigaram a produção de biodiesel e bio-óleo a partir, respectivamente, do aproveitamento do óleo de soja/fritura e da pirólise proveniente de biomassa.

Os capítulos de 12 a 14 apresentam trabalhos que buscaram avaliar a eficiência da injeção de gás carbônico ou solução de polímero para avaliar a recuperação avançada do petróleo. Além disso, apresenta um estudo de práticas de gestão operacional de exploração e produção de petróleo e gás natural exigido para atender normas da ABNT e certificações ISO e regulamentos técnicos estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Já os trabalhos presentes nos capítulos de 15 a 18 tratam de temas que variam da utilização da garrafa PET como dispositivo para determinar a densidade aparente de materiais em forma de pó; análise da geometria, diluição e qualidade de revestimentos de aço AISI 317L aplicado pelo processo de GTAW; estudo teórico visando aumentar a eficiência de uma coluna cromatográfica utilizando sílica na forma de nanopartículas e; apresenta uma aplicação na indústria de alimentos que utilizou a mistura de bebida fermentada de camomila com o cogumelo da espécie *Agaricus Brasiliensis*.

Diante desta variedade de estudos, provenientes de pesquisadores (as) de diferentes partes do Brasil, a Atena Editora selecionou e reuniu estes trabalhos neste e-book que depois de publicado, estará acessível de forma gratuita em seu *site* e em outras plataformas digitais, contribuindo para a divulgação do conhecimento científico gerado nas

instituições de ensino de todo o país. Assim, a Atena Editora vem trabalhando, buscando, estimulando e incentivando cada vez mais os pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros ou capítulos de livros.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA CASCA DE MARACUJÁ NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO**

Cinthia Silva Almeida  
Antonia Vitória Grangeiro Diógenes  
Macilene Maria Monteiro Maia  
Daianni Ariane da Costa Ferreira  
Francisco Wilton Miranda da Silva  
Zilvam Melo dos Santos  
Manoel Reginaldo Fernandes  
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126101>

### **CAPÍTULO 2..... 9**

#### **AMMONIA NITROGEN REMOVAL FROM FISH PROCESSING WASTEWATER BY ADSORPTION USING ACTIVATED CARBON**

Davi Vieira Gomes  
Maria Alice Prado Cechinel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126102>

### **CAPÍTULO 3..... 18**

#### **CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE IVERMECTINA EM CARVÃO ATIVADO FUNCIONALIZADO COM GRAFENO**

Eduardo Possebon  
Marcelo Fernandes Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126103>

### **CAPÍTULO 4..... 34**

#### **APLICAÇÃO DE SURFATANTES NÃO IÔNICOS NO CONTROLE DA TAXA DE DISSOLUÇÃO DE CARBONATOS NA ACIDIFICAÇÃO DE MATRIZ**

Alcides de Oliveira Wanderley Neto  
Guilherme Mentges Arruda  
Dennys Correia da Silva  
Luiz Felipe da Hora  
Jefferson David Coutinho de Araújo  
Marcos Allyson Felipe Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126104>

### **CAPÍTULO 5..... 45**

#### **UM ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E REDUÇÃO DA PEGADA DE CARBONO EM PROCESSO DE BRASAGEM**

Caline Nunes de Carvalho  
Tereza Neuma de Castro Dantas  
Afonso Avelino Dantas Neto  
Herbert Senzano Lopes

Andréa Oliveira Nunes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126105>

**CAPÍTULO 6..... 57**

**PROPOSTA DE MÉTODO ANALÍTICO PARA QUANTIFICAÇÃO DE BISFENOL A EM ÁGUAS SUPERFICIAIS**

Cristiano Gonçalves Alano  
Paula Roberta Perondi Furtado  
Marcia Luciane Lange Silveira  
Jamile Rosa Rampinelli  
Elisabeth Wisbeck  
Mariane Bonatti Chaves  
Sandra Aparecida Furlan

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126106>

**CAPÍTULO 7..... 74**

**CONTAMINANTES DE INTERESSE EMERGENTE PRESENTES EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS: O QUE VOCÊ NÃO VÊ, MAS AFETA E COMPROMETE A QUALIDADE DOS DIFERENTES ECOSSISTEMAS E A SAÚDE DE TODOS OS ORGANISMOS VIVOS**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126107>

**CAPÍTULO 8..... 87**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE FARINHA DE INHAME OBTIDA POR ATOMIZAÇÃO**

Edison Paulo de Ros Triboli  
Letícia Giuliani Yashiki

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126108>

**CAPÍTULO 9..... 93**

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL UTILIZANDO ÓLEO DE FRITURA E ÓLEO DE SOJA**

Rafael Melo dos Santos Costa  
Juan Medeiros Sousa  
Dyenny Ellen Lima Lhamas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126109>

**CAPÍTULO 10..... 101**

**PRODUÇÃO DO BIO-ÓLEO A PARTIR DA PIRÓLISE RÁPIDA DA BIOMASSA**

Janaína Santos Matos  
Leila Maria Aguilera Campos  
Maria Luiza Andrade da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261010>

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>114</b>
UMA REVISÃO SOBRE A OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE EFLUENTES DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA GERADOS NO BRASIL	
Renata Carvalho Costa Márcio Daniel Nicodemos Ramos André Aguiar	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261011">https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261011</a>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>126</b>
ANÁLISE DE RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO ATRAVÉS DA INJEÇÃO MISCÍVEIS DE CO <sub>2</sub> POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO CASO UNISIM-II-H	
Ana Paula Pereira Santos Paulo Couto	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261012">https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261012</a>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>145</b>
INJEÇÃO DE POLÍMEROS ACIMA DA PRESSÃO DE FRATURA DA FORMAÇÃO COMO MÉTODO DE RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO	
Maria do Socorro Bezerra da Silva Edney Rafael Viana Pinheiro Galvão	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261013">https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261013</a>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>157</b>
PRÁTICAS DE GESTÃO OPERACIONAL NA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO (E&P) DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL NO BRASIL, PARA ATENDER REQUISITOS DE NORMAS ABNT NBR ISO DE SGI E DE REGULAMENTOS TÉCNICOS DA AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP)	
Raymundo Jorge de Sousa Mançú Luís Borges Gouveia Silvério dos Santos Brunhoso Cordeiro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261014">https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261014</a>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>196</b>
MELHORIA DA DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE APARENTE DE PÓS COM AUXÍLIO DE DISPOSITIVO FEITO COM GARRAFA DE REFRIGERANTE	
Edison Paulo de Ros Triboli Marina Piasentini Oliva	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261015">https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261015</a>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>202</b>
ANÁLISES DA GEOMETRIA, DILUIÇÃO E QUALIDADE DE REVESTIMENTOS DE AÇO AISI 317L APLICADOS PELO PROCESSO GTAW COM ADIÇÃO DE ARAME FRIO	
Rafael Barbosa Carneiro dos Santos João Pedro Inácio Varela Mathews Lima dos Santos Marcos Mesquita da Silva Renato Alexandre Costa de Santana	

Raimundo Nonato Calazans Duarte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261016>

**CAPÍTULO 17.....215**

**ESTUDO TEÓRICO: AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE COLUNAS CROMATOGRÁFICAS  
POR APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS**

Afonso Poli Neto

Herbert Duchatsch Johansen

Marcelo Telascrêa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261017>

**CAPÍTULO 18.....229**

**BEBIDA FERMENTADA DE CAMOMILA COM COGUMELO *AGARICUS BRASILIENSIS***

Joseane Martins de Oliveira

Édipo Gulogurski Ribeiro

Meakaythacher Massayumi Takayanagui

Ana Carolina Dobrychtop

Camila Kaminski

Herta Stutz

Sueli Pércio Quináia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261018>

**SOBRE O ORGANIZADOR.....238**

**ÍNDICE REMISSIVO.....239**

## UM ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E REDUÇÃO DA PEGADA DE CARBONO EM PROCESSO DE BRASAGEM

*Data de aceite: 27/09/2021*

*Data de submissão: 23/06/2021*

### **Caline Nunes de Carvalho**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Química  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/1937562136747225>

### **Tereza Neuma de Castro Dantas**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Química  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/0676872399141537>

### **Afonso Avelino Dantas Neto**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Química  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/2174051551046465>

### **Herbert Senzano Lopes**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Química  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/9669152092439524>

### **Andréa Oliveira Nunes**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Química  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/7620659413250570>

**RESUMO:** Um dos problemas mais severos da sociedade atual é a mudança climática causada pela emissão descontrolada de gases do efeito estufa (GEE). Processos industriais representam aproximadamente 30% da emissão global de GEE. Apesar dos esforços para tornar a economia global ecologicamente amigável, uma atenção considerável deve ser dada para identificar os impactos ambientais dos produtos e processos provenientes de todos os setores industriais. Métodos de tratamento térmico são frequentemente utilizados na fabricação de componentes críticos para indústria petroquímica, aeroespacial e automotiva. O forno de hidrogênio é um equipamento que fornece a atmosfera controlada necessária para tratamentos térmicos, produzindo peças de alta integridade. Esta pesquisa apresenta uma proposta para quantificar a pegada de carbono e estratégias para sua redução relacionada à aplicação desses fornos no processo de brasagem. O método sugerido é baseado na alteração do sistema de refrigeração do forno, substituindo o atual fornecimento de água por um ciclo fechado. Para isso, foram propostos dois cenários alternativos usando o software UniSim®, em que um interliga a corrente de água do resfriador ao sistema de chiller já existente na instalação, e o outro mantém as mesmas condições de ciclo fechado, porém alterando o fluido refrigerante utilizado no chiller de R-134a para amônia. Os dados obtidos a partir da simulação foram essenciais para estimar as necessidades energéticas dos cenários. Considerando também as informações técnicas contidas no manual do forno, a pegada de carbono foi determinada com o auxílio do

software SimaPro®. A mudança do sistema de fornecimento de água no forno para um ciclo fechado permitiu significativa redução no consumo de água, eliminando o rejeito mensal de mais de 800 mil litros desse recurso. A utilização da amônia como fluido refrigerante gerou uma redução de 97% da pegada de carbono do sistema, possibilitando consequente a mitigação das mudanças climáticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gases do efeito estufa, pegada de carbono, forno contínuo, brasagem, refrigeração industrial.

## A STUDY FOR OPTIMIZATION OF WATER CONSUMPTION AND CARBON FOOTPRINT REDUCTION OF A BRAZING PROCESS

**ABSTRACT:** One of the most severe issues of the current society is the global climate change caused by uncontrolled greenhouse gas (GHG) emissions. Industry processes represent almost 30% of the global GHG emissions. Despite the efforts to green the global economy, considerable attention must be focused to assess and characterize the environmental impact of products and processes from all different industry sectors. Heat treatment methods are often used to manufacture critical parts for petrochemical, aerospace, and automotive industries. The hydrogen furnace is an equipment that provides the controlled atmosphere required for heat treatment, producing high integrity assemblies. This research presents a proposal to quantify the carbon footprint and to define a strategy to reduce it related to the application of hydrogen furnaces for brazing processes. The proposed method is based on modifying the furnace cooling system by replacing the current water supply for a closed loop. For that, two scenarios have been proposed using the UniSim® software: one connecting the water from the furnace to the facility chiller system, and another one keeping the water closed loop but changing the chiller refrigerant from R-134a to ammonia. The data obtained as a result of the simulation were essential to estimate the energy needs of each scenario. Also considering furnace manufacturing manual and datasheet, the carbon footprints were determined using the software SimaPro®. The change on the furnace water supply for a closed loop allowed a significantly decrease of water consumption, eliminated the monthly disposal of 800,000 liters of that resource. The application of ammonia as the refrigerant generated 97% reduction of the overall carbon footprint, leading therefore to a climate change mitigation.

**KEYWORDS:** Greenhouse gas, carbon footprint, continuous furnace, brazing, industrial refrigeration.

## 1 | INTRODUÇÃO

Materiais cerâmicos avançados unidos a materiais metálicos apresentam importantes propriedades demandadas pelas indústrias aeroespacial, petroquímica e automobilística, tais como resistência à corrosão e inércia química provenientes da cerâmica aliadas à tenacidade e complexidade geométrica funcional oriundas ao componente metálico.

A evolução dos processos de união tem permitido a utilização de cerâmicas em conjunto com metais na fabricação de diversos componentes híbridos por meio da brasagem, que mantém intrínsecas as propriedades do metal e da cerâmica além de ser um processo que apresenta uma série de vantagens como simplicidade, grande disponibilidade de

equipamentos e fácil automação industrial (NASCIMENTO; MARTINELLI; BUSCHINELLI, 2003).

A brasagem de peças que exigem alta confiabilidade e interfaces capazes de suportar altas temperaturas de trabalho geralmente é executada sob atmosfera protetora em fornos contínuos ou em fornos a vácuo. A estabilidade da atmosfera é essencial para garantir uniformidade e repetibilidade de resultados além de um alto grau de controle requerido para produzir peças excepcionalmente limpas e livres de oxidação (FEDOROV et al., 2018).

Os fornos contínuos são geralmente compostos de quatro zonas: a de entrada (z1), a de pré-aquecimento (z2), a quente (z3) e a de resfriamento (z4). A função do pré-aquecimento é eliminar qualquer resíduo de carbono através de oxidação dos hidrocarbonetos para evitar interferências na brasagem, que acontece na zona quente. A última zona é responsável pelo rápido resfriamento, para garantir o manuseio seguro das peças tratadas (QUADBECK et al., 2016). Os processos realizados nas zonas z2 e z3 são geralmente suportados por atmosferas de nitrogênio ( $N_2$ ) e hidrogênio ( $H_2$ ), que também previnem a oxidação do material e maximizam seu resfriamento na zona 4 (FEDOROV et al., 2019).

É comum utilizar sistemas de refrigeração industrial nas etapas de resfriamento dos fornos. A refrigeração industrial é usada em grandes instalações comerciais (shopping centers, supermercados, etc.) assim como indústrias para resfriar o ar, produtos e equipamentos, auxiliando na climatização e controle da temperatura. Em geral, os sistemas de refrigeração são cíclicos e representam em torno de 50% do consumo energético dos imóveis. O design adequado das plantas de refrigeração é considerado uma das maneiras mais efetivas para reduzir o consumo de energia de uma instalação (MARTÍNEZ et al., 2020; YAN; CHENG; CAI, 2019).

A refrigeração pode ser direta, onde o fluido quente troca calor através de contato direto com o refrigerante, ou indireta, onde um fluido intermediário transporta a carga térmica da fonte geradora até o processo de resfriamento. Em instalações de grande porte, opta-se pela refrigeração indireta, que requer uma quantidade menor de fluido refrigerante (FR), menor consumo energético e menores custos de implantação.

Os sistemas de refrigeração em sua maior parte são formados por 3 ciclos fechados que transferem calor entre si: o ciclo do FR, o ciclo da água de condensação (AC) e o ciclo da água de resfriamento (AR), conforme ilustrado na Figura 1.

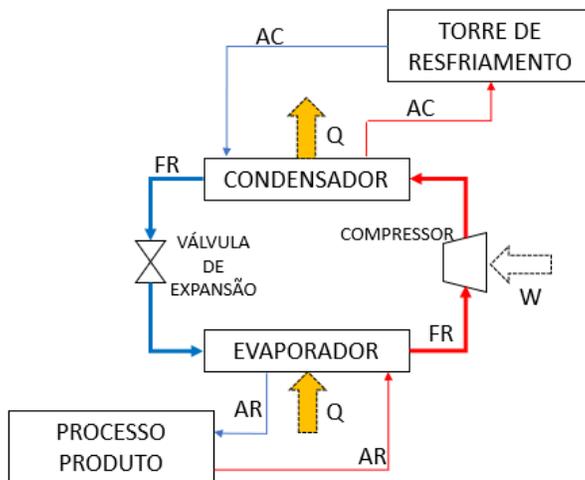


Fig. 1 – Sistema de refrigeração indireto.

Fonte: elaborado pelo autor.

O ciclo do fluido refrigerante ocorre em um equipamento conhecido como chiller. Este equipamento é composto por um evaporador, um compressor, um condensador e uma válvula de expansão. O FR na forma de líquido saturado passa pela válvula de expansão, reduzindo bruscamente sua pressão e transformando-se em uma mistura líquido-vapor. Em seguida, o fluido passa pelo evaporador e lá absorve o calor da água quente a ser resfriada (fluido indireto), vaporizando-se. O vapor segue para o compressor, que fornece trabalho ao sistema através de um motor, aumentando a pressão e a temperatura do vapor. Esse vapor, escoando em seguida para o condensador, onde elimina calor para a AC, passando para a fase líquida. O FR volta então à válvula de expansão, fechando o ciclo (TORRELLA et al., 2010).

A água de resfriamento, também chamada de fluido indireto do sistema, sai fria do chiller após transferir calor para o FR no evaporador. De lá segue para as diferentes áreas e processos da instalação, para resfriar o ar ou qualquer outro produto desejado. A AR por sua vez irá aquecer e ser transportada até o chiller, onde será resfriada novamente, fechando o seu ciclo.

Na unidade condensadora, o FR troca calor com a AC e reduz sua temperatura, liquefazendo-se. A AC, agora aquecida, é então bombeada até a torre de resfriamento. Na torre, a água quente proveniente do chiller vai entrar pela parte superior. O exaustor instalado no topo da torre vai aspirar o ar atmosférico através de venezianas permitindo que o ar ascendente resfrie a água quente que flui em contracorrente do topo para a base da torre. O ar quente deixa a torre através do exaustor e a água fria é bombeada novamente para o condensador do chiller, fechando o ciclo da água de condensação.

O consumo energético dos sistemas industriais de refrigeração assim como os

fluidos utilizados nesses ciclos representam um risco ao meio ambiente, principalmente no que diz respeito à emissão de gases do efeito estufa (GEE).

Desde a revolução industrial, as concentrações GEE na atmosfera – dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), clorofluorcarbonos (CFC), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e ozônio ( $\text{O}_3$ ) – tem crescido principalmente devido às ações humanas, causando um aumento da temperatura global de 0,2 °C ao ano em média (SAMSET; FUGLESTVEDT; LUND, 2020).

Diferentes agências governamentais, organizações internacionais e instituições de pesquisa começaram a trabalhar juntas para combater as mudanças climáticas a partir da identificação das fontes de emissão de GEE e da implementação de estratégias para mitigar o impacto ao meio ambiente.

A primeira resposta das nações a esse problema foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992, também conhecida como Eco-92, onde vários países se comprometeram de maneira voluntária a limitar suas concentrações de GEE. Uma vez que essa iniciativa não rendeu muitos resultados, o Protocolo de Kyoto foi proposto em 1997 definindo metas para a redução da emissão desses gases (NORDHAUS, WILLIAM D., 1999).

Foi apenas em 2015 na Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas que objetivos de longo prazo foram definidos a fim de conter o aquecimento global abaixo de 2 °C, preferencialmente em 1,5 °C.

A partir de então, não apenas os países vêm desenvolvendo medidas para garantir o desenvolvimento sustentável, mas os próprios consumidores também passaram a considerar a performance ambiental das empresas ao tomar suas decisões de compra. Dessa maneira, os executivos que tipicamente gerenciavam seu risco ambiental baseados em conformidade regulatória e potencial de acidentes ambientais, passaram a considerar a mudança climática como um risco à continuidade dos negócios (LASH; WELLINGTON, 2007).

Logo, mensurar e analisar as emissões de carbono tornaram-se passos necessários para lidar com o efeito estufa. Foram então desenvolvidos diversos protocolos e procedimentos para quantificar de maneira padronizada as emissões de GEE, convertendo-as em dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ). Essa medida é internacionalmente conhecida como pegada de carbono (OLAUSSON, 2020).

O estudo da pegada de carbono de qualquer produto tem por finalidade identificar os processos e atividades com maior potencial de emissão de GEE e possibilitar a definição de técnicas que reduzam essas emissões de gases de uma maneira que eles sejam neutralizados, sem causar alterações climáticas.

O objetivo deste estudo é avaliar o processo de resfriamento realizado em um forno contínuo de atmosfera controlada usado para brasagem de peças cerâmicas e metálicas e propor modelos mais ecologicamente eficientes com uma menor pegada de carbono através da simulação de dois cenários alternativos.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Descrição do estudo de caso

O presente estudo foi realizado em uma empresa que manufatura peças e equipamentos usados em atividades realizadas nas indústrias aeroespacial e petroquímica, localizada no estado do Texas (Estados Unidos). O equipamento foco dessa pesquisa foi o forno contínuo com atmosfera redutora de hidrogênio usado para fazer a brasagem de peças cerâmicas e metálicas.

O funcionamento do forno depende dos seguintes recursos: hidrogênio e nitrogênio, que compõem sua atmosfera (redutora e inerte) controlada, eletricidade para a operação da esteira contínua e para o aquecimento necessário nas zonas quente e de pré-aquecimento e fornecimento contínuo de água, que resfria as peças quentes provenientes da zona quente onde acontece a brasagem até uma temperatura segura para seu manuseio.

O vazão dos gases inerte e redutor assim como de água são parâmetros essenciais para manter a precisão e repetibilidade das peças produzidas. De acordo com as especificações do fabricante, para o funcionamento adequado do forno são necessários entre 2 e 3 ft<sup>3</sup>/min de H<sub>2</sub>, 1 e 2 ft<sup>3</sup>/h de N<sub>2</sub>, com pressão de 20 psi para ambos os gases e 300 galões por hora de água a uma pressão de 60 a 100 psi e temperatura de 10 a 15,5 °C. O consumo energético do forno é 30 kWh. Toda a água utilizada para o resfriamento enjaquetado das peças é rejeitada como efluente, mesmo sem contato direto entre a água e as peças.

### 2.2 Simulação de cenários alternativos

O sistema atual de resfriamento do forno, onde a água fria é fornecida diretamente pela rede de abastecimento da cidade e a água quente é diretamente rejeitada para a rede de esgotos, é representado pelo cenário 1. Ainda como parte do cenário 1 são considerados o chiller e a torre de resfriamento, usada para resfriar a água de condensação e, assim como o forno, ambos já são operacionais na empresa, sendo utilizados apenas para resfriar as instalações (área construída de 36101 m<sup>2</sup>), incluindo escritórios e áreas industriais.

O chiller de 760 toneladas de refrigeração (TR) opera em média a 70% de sua capacidade e tem um consumo energético médio de 290 kW (máximo 394 kW). A potência da bomba da água de condensação é 50 HP e o consumo energético da torre de resfriamento é 40 HP. O fluido de refrigeração que circula no chiller é o R134a.

Foram então simulados os seguintes cenários usando o software UniSim Design® para avaliar sistemas de circulação de água fechados, eliminando o rejeito de água limpa para a rede de esgotos. De acordo com os parâmetros operacionais do forno, a água deixa a jaqueta a 26 °C com a mesma vazão de entrada. Para a simulação, também foram considerados como dados de entrada os demais parâmetros operacionais do forno definidos pelo fabricante, como temperatura, pressão e vazão mássica de água de entrada do forno.

No cenário 2, uma tubulação de água é adicionada para conectar a corrente de água proveniente do forno ao sistema de chiller e do chiller ao forno, incluindo também um tanque e uma bomba centrífuga para garantir a pressão de água desejada na entrada do forno. Esse cenário representa o sistema fechado de circulação da água de resfriamento do forno, garantindo sua reutilização e, conseqüentemente, eliminando seu rejeito como efluente.

O cenário 3 propõe o mesmo *layout* o cenário 2, mas substituindo o fluido de refrigeração R-134a por amônia. Constantes como calor específico e razão de compressão dos refrigerantes fazem parte da base de dados do software.

## 2.3 Determinação da pegada de carbono

A pegada de carbono de cada um dos 3 cenários foi determinada através da metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) de acordo com as normas ISSO 14040 e 14044 (ABNT, 2009a, 2009b), que consta de quatro fases: definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos ambientais e interpretação.

Para a ACV, foi usado o software SimaPro® versão 9.1 com o auxílio da base de dados EcolInvent 3.6. O método utilizado para o cálculo da pegada de carbono foi o ReCiPe 2016 midpoint (H), baseado no modelo de 100 anos do Relatório 2013 publicado pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), expressando o impacto em termos de kg de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub>eq). Esse método quantifica as contribuições de emissões atmosféricas para cada um dos processos listados no inventário utilizando os fatores de conversão atualizados do IPCC para calcular a pegada de carbono.

# 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Simulação de cenários alternativos

Os fluxogramas dos processos de resfriamento no forno contínuo, de circulação de água de resfriamento, de circulação de fluido refrigerante no chiller e de circulação de água de condensação entre a torre e o chiller estão representados na Figura 2. A ilustração foi obtida a partir da aplicação da simulação de processos com o auxílio do software UniSim Design®. O cenário 1 (fluxo aberto) está representado pela demarcação na cor verde, que são os processos atualmente operacionais na empresa, enquanto os cenários 2 e 3, que são as simulações realizadas no UniSim Design®, são ilustrados pela demarcação laranja.

Onde, H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>e e H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>s são as correntes de entrada e saída de H<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> no forno, H<sub>2</sub>Oef e H<sub>2</sub>Osf são as correntes de entrada e saída de água no forno, H<sub>2</sub>Oet e H<sub>2</sub>Ost são as correntes de água fria de entrada e saída no tanque; H<sub>2</sub>Oe2 é corrente de água quente proveniente das instalações da empresa, H<sub>2</sub>Os2 é a corrente de água fria que retorna para a refrigeração dos ambientes; FR1 é o vapor de fluido refrigerante (FR), que pode ser



H2Oet	10	310.3	1133.31	10	310.3	1133.31
H2Ost	10	310.3	1133.31	10	310.3	1133.31
H2Oe2	9.83	101.32	228439	9.83	101.32	228439
H2Os2	5.11	101.22	228439	5.59	101.22	228439
FR1	6.78	202.55	28558.18	6.78	202.55	4766.74
FR2	57.44	810	28558.18	159.78	1084.18	4766.74
FR3	29.72	809.9	28558.18	27.82	1084.08	4766.74
FR4	-9.75	202.65	28558.18	-18.23	202.65	4766.74
ACe	24	101.32	268658.01	24	101.32	268658.01
ACs	29	101.22	268658.01	29	101.22	268658.01

Tabela 1 – Configuração dos cenários 1, 2 e 3.

Levando em consideração o consumo energético, a adição da corrente de água do forno ao processo de resfriamento que ocorre no chiller nos cenários 2 e 3 representa um acréscimo quase imperceptível no sistema chiller-torre uma vez que a corrente de água do forno tem uma vazão mássica de aproximadamente 0,5% da corrente de água usada para resfriamento das instalações. O incremento real se dá devido à adição da bomba centrífuga para permitir a que os parâmetros requeridos para a operação do forno sejam atendidos, além do envio ao chiller da água proveniente do forno e da água de resfriamento partindo do chiller para o forno. Comparando o consumo global do sistema entre os cenários 1 e 2, o segundo cenário apresenta um acréscimo no consumo de energia de aproximadamente 5 kWh.

Ainda considerando o aspecto energético, a substituição do fluido refrigerante R134a por amônia, mantendo a mesma estrutura física do chiller e alterando apenas os parâmetros operacionais, resulta em um aumento de 133 kWh no consumo global de energia.

### 3.2 Determinação da pegada de carbono

O objetivo da ACV nesse estudo é a determinação da pegada de carbono de cada um dos 3 cenários definidos na metodologia. A unidade funcional escolhida para a determinação da pegada de carbono foi 1 hora de funcionamento do sistema (forno, chiller, torre de resfriamento e bombas). O escopo considerado nesse ACV adotou uma abordagem do berço ao portão (cradle-to-gate) e as fronteiras do sistema são as mesmas utilizadas para a simulação no UniSim Design® (Figura 2).

O consumo dos gases hidrogênio e nitrogênio usados para compor a atmosfera do forno não são alterados quando comparados os cenários 1, 2 e 3, por isso a utilização desses recursos não faz parte do cálculo comparativo da pegada de carbono.

O reservatório de água (tanque) adicionado ao ciclo fechado para garantir o fornecimento de água sem interrupções não interfere no cálculo da pegada de carbono, pois

não apresenta mudanças na quantidade de recursos utilizados ou no consumo energético, dado que o impacto ambiental causado pela construção dos equipamentos e materiais que compõem o sistema não foi considerado no cálculo da pegada de carbono.

Dessa forma, para o inventário foram consideradas as quantidades de água e refrigerante utilizados e a energia consumida pelas bombas, chiller e torre de resfriamento (BCT). Esses dados foram obtidos a partir da simulação dos cenários 2 e 3 no UniSim Design® e estão apresentados na Tabela 2.

Entradas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Água (kg)	2271,20	1135,60	1135,60
Refrigerante (kg)	28558,18	28558,18	4766,74
Energia Forno (kWh)	30,00	30,00	30,00
Energia BCT (kWh)	357,58	362,80	496,19

Tabela 2 – Inventário ACV.

Com relação à pegada de carbono, a Fig. 3 ilustra a quantidade de kg CO<sub>2</sub>eq para cada um dos cenários, considerando o Potencial de Aquecimento Global definido pelo IPCC para os recursos água e fluidos refrigerantes e do consumo energético do conjunto BCT. Os resultados foram obtidos com o auxílio software SimaPro® versão 9.1, base de dados EcoInvent 3.6, conforme mencionado na metodologia.

A quantidade total de dióxido de carbono equivalente gerado nos cenários 1, 2 e 3 é 484.258 kg, 484.260 kg e 10.294 kg, respectivamente.

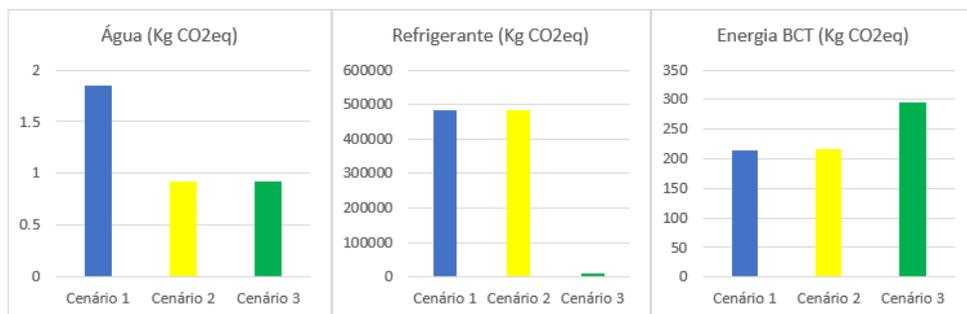


Fig. 3 – Comparação da Pegada de Carbono dos cenários 1, 2 e 3.

Observa-se que nesse sistema o impacto relativo ao fluido refrigerante é significativamente maior se comparado à quantidade de água e à energia total consumida do sistema BCT. Além disso, as quantidades de refrigerante requeridas para operacionalizar o sistema são bastante discrepantes comparando o cenário 3, que utiliza amônia, aos cenários 1 e 2, que utiliza R-134a. Dessa forma, o cenário 3 mostrou-se mais vantajoso,

pois além da menor quantidade de refrigerante necessária, a amônia é uma alternativa natural com baixíssimo Potencial de Aquecimento Global se comparado ao R-134a, mesmo esse sendo um hidrofluorcarbono (HFC) isento de cloro.

## 4 | CONCLUSÕES

Este estudo permitiu a configuração de um sistema de circulação fechado de uma corrente de água utilizada para resfriamento de peças nas indústrias aeroespacial e petroquímica tratadas em fornos contínuos.

Os cenários propostos através da simulação de processos com o auxílio do software UniSim Design® mostraram a possibilidade da eliminação de rejeito mensal de mais de 800 mil litros de água a partir da conexão da corrente de água utilizada no forno contínuo à unidade de resfriamento (chiller – torre de resfriamento) já existente na instalação.

O estudo ambiental foi concluído com o auxílio do software SimaPro® e, como resultado da análise, o cenário 3 mostrou-se mais eficaz em termos de pegada de carbono uma vez que a amônia como fluido refrigerante apresenta um menor Potencial de Aquecimento Global que o R-134a.

Os sistemas propostos nesse estudo não passaram pela fase de implementação. Uma avaliação futura de viabilidade econômica precisa ser realizada para a definição final do cenário a ser utilizado pela empresa. Além disso, um estudo detalhado da segurança operacional também necessita ser feito caso o cenário 3 seja escolhido, pois a amônia é um refrigerante tóxico e inflamável.

No mais, a metodologia aplicada nessa pesquisa pode ser executada para avaliar a eficiência de outros fluidos refrigerantes assim como de outros processos que envolvem a necessidade de refrigeração de correntes visando a redução do impacto ambiental.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040: Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14044: Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

FEDOROV, V. et al. **Investigation on the influence of nitrogen in process atmospheres on the corrosion behavior of brazed stainless steel joints**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 373, n. 1, 2018.

FEDOROV, V. et al. **Influence of nitrogen in brazing atmospheres on the hardness of the microstructural constituents of brazed stainless steel joints**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 480, n. 1, 2019.

LASH, J.; WELLINGTON, F. **Competitive advantage on a warming planet**. Harvard Business Review, v. 85, n. 3, p. 94–102, 2007.

MARTÍNEZ, F. J. R. et al. **Energy consumption reduction of a chiller plant by adding evaporative pads to decrease condensation temperature**. Energies, v. 13, n. 9, 2020.

NASCIMENTO, R. M. DO; MARTINELLI, A. E.; BUSCHINELLI, A. J. A. **Review Article: recent advances in metal-ceramic brazing**. Cerâmica, v. 49, n. 312, p. 178–198, 2003.

NORDHAUS, WILLIAM D., AND J. G. B. **Requiem for Kyoto: an economic analysis of the Kyoto Protocol**. The Energy Journal, 1999.

OLAUSSON, H. **A tool for calculating CO2 emissions in the manufacturing industry Use of GHG protocol**. [s.l.] Halmstad University, 2020.

QUADBECK, P. et al. **Atmosphere monitoring in a continuous sintering belt furnace**. Journal of Materials Processing Technology, v. 231, p. 406–411, 2016.

SAMSET, B. H.; FUGLESTVEDT, J. S.; LUND, M. T. **Delayed emergence of a global temperature response after emission mitigation**. Nature Communications, v. 11, n. 1, p. 1–10, 2020.

TORRELLA, E. et al. **On-site study of HCFC-22 substitution for HFC non-azeotropic blends (R417A, R422D) on a water chiller of a centralized HVAC system**. Energy and Buildings, v. 42, n. 9, p. 1561–1566, 2010.

YAN, C.; CHENG, Q.; CAI, H. **Life-cycle optimization of a chiller plant with quantified analysis of uncertainty and reliability in commercial buildings**. Applied Sciences (Switzerland), v. 9, n. 8, 2019.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 30, 31, 32, 72

Adsorvente 3, 4, 5, 6, 8, 20, 21, 61, 63, 64

Afluentes 19

Agência Nacional do Petróleo - ANP 157, 159, 160, 193

Águas subterrâneas 75

Águas superficiais 19, 57, 69, 70, 71, 81

Análise cromatográfica 216

Antibióticos 18, 80, 81

Atomização 87, 88, 89, 90, 91, 197, 201

### B

Bioadsorvente 238

Biochemical Oxygen Demand (BOD) 9, 10

Biocombustíveis 8, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 105, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 161, 193

Biodiesel 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

### C

Carvão ativado 3, 10, 18, 21, 32, 72

Cascas de maracujá 1, 2, 3, 4, 6, 7

Catalisador 93, 94, 95, 98, 108, 109, 118

Chemical Oxygen Demand (COD) 9, 10

Cinética 18, 20, 21, 24, 26, 28, 41, 106

Colunas cromatográficas 215, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226

Combustíveis fósseis 94, 102

Compressibilidade 196, 197

Corpos hídricos 19, 57, 59, 60, 70

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) 33, 77, 216, 227, 228

### D

Densidade 88, 89, 92, 93, 96, 97, 98, 108, 119, 121, 127, 128, 149, 196, 197, 198, 199, 200

Densidade aerada 89, 196, 197, 200

Densidade aparente 92, 196, 198

## E

Efeito estufa 45, 46, 49, 94, 102

Efluentes 3, 5, 19, 31, 59, 60, 114, 116, 120, 123, 124, 182, 238

Efluentes domésticos 19

Efluentes industriais 59

Espalhamento de Luz Dinâmico (DLS) 217

Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) 76, 81, 119, 124, 238

## F

Fármacos 19, 32, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 218, 227

Fraturas induzidas 150

Fraturas naturais 148

Funil 4, 22, 196, 197, 198, 199, 200

## G

Garrafa PET 197

Grafeno 18, 21, 31, 218, 227

## H

Hidrofobizada 1, 6, 8

Hormônios 18, 60, 77

## I

Impacto ambiental 54, 55

Índices de fluidez de *Hausner* e de *Carr* 87

Inhame 87, 88, 89, 90, 91

Injeção de polímeros 145, 146, 147, 148, 149, 150, 154, 155

Ivermectina 18, 19, 21, 31, 32

## M

Materiais particulados 196

Matéria-prima 88, 95, 114, 115, 116, 117, 196

Matrizes aquosas 74, 82

Mesh 1, 2, 4, 6, 10, 36

Microplásticos 77

## **N**

Nanopartículas 215, 217, 218, 219, 220, 226, 227, 228

## **O**

Óleo de fritura 93, 94, 95, 97, 98, 99

Óleo de soja 93, 94, 95, 97, 98, 99

Óleo diesel 1, 4

Organic matter 9, 15, 16

## **P**

Pesticidas 18, 77, 79, 80, 81, 82

Petróleo 1, 2, 5, 8, 34, 35, 36, 37, 94, 96, 99, 102, 103, 104, 126, 127, 128, 129, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 173, 174, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 203, 204, 212, 213, 215

Polímero 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 216

Processos convencionais de tratamento de água e esgoto 18, 78

## **R**

Reaproveitamento 123

Recuperação Avançada de Petróleo (EOR) 126, 128, 145, 146, 147

Recursos hídricos 59, 61, 76, 82, 123

Renovável 93, 94, 95, 102, 104, 105

Reservatórios Não-Convencionais (RNC) 147

Resíduos agroindustriais 3, 5, 7, 122

## **S**

Separação granulométrica 1, 4

Sílica 215, 216, 217, 218, 219, 220, 226, 227, 228

Solução polimérica 147, 149, 150, 151, 154

Surfactantes 18, 34, 82

Sustentável 49, 94, 101, 193, 200, 236

## **T**

Transesterificação etílica 93, 98, 99

Turbidez 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

## **U**

Umidade 60, 88, 89, 90, 103, 107, 108, 109, 232

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA QUÍMICA 2



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA QUÍMICA 2



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)