

DANYELLE ANDRADE MOTA
(Organizadora)

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 3



DANYELLE ANDRADE MOTA
(Organizadora)

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 3



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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 Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
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
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
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



Engenharias: criação e repasse de tecnologias 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Danyelle Andrade Mota

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharias: criação e repasse de tecnologias 3 /
Organizadora Danyelle Andrade Mota. – Ponta Grossa -
PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0506-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.061220509>

1. Engenharia. 2. Tecnologia. I. Mota, Danyelle Andrade
(Organizadora). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

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

A engenharia é uma ciência que utiliza de conhecimentos e estudos técnicos e científicos com o intuito de criar e otimizar novas ferramentas, métodos, processos, desenvolver novas tecnologias, corrigir falhas nos procedimentos ou produtos. Sua abrangência envolve todas as áreas de atuação humana, e é um dos pilares do desenvolvimento tecnológico, social e econômico da sociedade.

Pode-se dizer que a engenharia é um sinônimo de desenvolvimento e um dos principais pilares para o setor industrial. Logo, entender os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria continua de processos.

A coleção “ENGENHARIAS: CRIAÇÃO E REPASSE DE TECNOLOGIAS 3” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica de forma interdisciplinar com trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que transitam nos vários caminhos das Engenharias e áreas afins. O objetivo central foi apresentar de forma categorizada e clara estudos desenvolvidos em diversas instituições de ensino e pesquisa.

Na presente obra são apresentados 15 trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de engenharia, como civil, materiais, mecânica, química, ambiental, dentre outras, dando um viés onde se faz necessária a melhoria continua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril e empreendedor. Destaca-se ainda a busca da redução de custos, sustentabilidade, melhoria continua e otimização de processos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros. Agradeço aos autores pelas contribuições que tornaram essa edição possível, e juntos, convidamos os leitores para desfrutarem as publicações.

Tenham uma ótima leitura!


Danyelle Andrade Mota

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A BIOMASSA COMO FONTE RENOVÁVEL DE ENERGIA ELÉTRICA: UMA REVISÃO CONTEXTUAL


Brenda Leal Mota Santos
Renato Santos Freire Ferraz
Patrick Laurient Cardoso Silva
Fábio Vincenzi Romualdo da Silva
Adjeferson Custódio Gomes
Rafael Rodrigues de Queiroz Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205091>

CAPÍTULO 2..... 13

REMOÇÃO DE COR E TOXICIDADE DE EFLUENTE TÊXTIL A PARTIR DE CIANOBACTÉRIAS


Sílvia Mariana da Silva Barbosa
Marcella Vianna Cabral Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205092>

CAPÍTULO 3..... 21

A APLICAÇÃO DE *ANALYTIC NETWORK PROCESS* - ANP EM LOGÍSTICA REVERSA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Jovani Patias
Leoni Pentiado Godoy
Murilo Sagrillo Pereira
Bruno Miranda dos Santos
Cyro Rei Prato Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205093>

CAPÍTULO 4..... 34

UMA AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE PERDA DE ÁGUA NUM PERÍODO DE ESCASSEZ HÍDRICA NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO


Diênifer Calegari Leopoldino Guimarães





 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205094>


CAPÍTULO 5..... 51

DESENVOLVIMENTO DE SURFACTANTE COM VISCOSIDADE ADAPTÁVEL PARA AUMENTAR A EXTRAÇÃO DE ÓLEO NA RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO

Laura Procópio Maia Furbino
Edilaisa Januário de Melo
Rogério Alexandre Alves de Melo
José Izaquiel Santos da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205095>

CAPÍTULO 6	62
USO DE SENSOR PIEZOELÉTRICO NA DETERMINAÇÃO DO ATRASO DE IGNIÇÃO EM UM MOTOR DE COMBUSTÃO DO CICLO DIESEL	
Márcio Andrade Rocha Lesso Benedito dos Santos Carlos A. Cabral Santos Jefferson W. de M. Mendonça	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205096	
CAPÍTULO 7	68
APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DO GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Augusto Cury Braff	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205097	
CAPÍTULO 8	82
REVISÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE VIGAS MISTAS CONCRETO/MADEIRA	
Guilherme Barbosa Vieira Thyago Camelo Pereira da Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205098	
CAPÍTULO 9	105
DESENVOLVIMENTO DE TEAR PLANO MODULAR IMPRESSO EM 3D PARA PRODUÇÃO DE TECIDOS DE PEQUENA LARGURA	
Matheus da Silva Rodrigues Fabia Regina Gomes Ribeiro Daniel Perdigão Lobato Liliana de Luca Xavier Augusto Leandro da Silva Pereira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205099	
CAPÍTULO 10	111
FATIGUE PROPERTIES OF COMBINED FRICTION STIR AND ADHESIVELY BONDED AA6082-T6 OVERLAP JOINTS	
Ricardo Maciel Tiago Bento Daniel F.O. Braga Lucas F.M. da Silva Pedro M.G.P. Moreira Virgínia Infante	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050910	
CAPÍTULO 11	128
MINIMIZAÇÃO DE DESLOCAMENTO DE OPERADORES POR MEIO DE AGRUPAMENTO DE FERRAMENTAIS EM ARRANJOS FÍSICOS POSICIONAIS	
Chin Yung Shih	

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050911>

CAPÍTULO 12..... 149

MÓDULO ELETRÔNICO SINTETIZADO SEM FIO, PARA BATERIA ELETRÔNICA, ATRAVÉS DA COMUNICAÇÃO WI-FI DO ESP32


Paulo César do Nascimento Cunha

Afonso Pereira Barros

Gabriel Vinícius de Souza Bispo

José Irineu Ferreira Júnior

Jarlisson José de Lira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050912>

CAPÍTULO 13..... 158

APLICAÇÕES DO DESIGN INSTRUCIONAL NA DISCIPLINA DE DESENHO: MÉTODOS DE ENSINO CONTEXTUALIZADOS PARA O ENSINO MÉDIO

José Rodolfo Ribeiro Tavares

Giselle Aparecida de Sousa Araujo


Isabel Barros Fiaux dos Santos

Luciene Maria de Souza Zanardi

Maria Cecília da Silva Barbosa

Paulo Roberto Boldarini Regini

Yasmim Carolino Bora Marinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050913>

CAPÍTULO 14..... 173

QUESTÕES NORTEADORAS PARA ESTUDO DE USABILIDADE EM POLÍTICAS DE SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO EM VSEs


André Rivas

Ivanir Costa

Nilson Salvetti

Marcos Vinícius da Silva Messias

Osmair Mendes Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050914>

CAPÍTULO 15..... 185

O EMPREENDEDORISMO FEMININO E SUAS PRINCIPAIS VERTENTES

Isadora dos Santos Raposo

Maurício Guerreiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050915>

SOBRE A ORGANIZADORA..... 190

ÍNDICE REMISSIVO..... 191

DESENVOLVIMENTO DE SURFACTANTE COM VISCOSIDADE ADAPTÁVEL PARA AUMENTAR A EXTRAÇÃO DE ÓLEO NA RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO

Data de aceite: 01/09/2022

Data de submissão: 22/07/2022

Laura Procópio Maia Furbino

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Diamantina – MG
<http://lattes.cnpq.br/4032015098127611>

Edilaisa Januário de Melo

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Campinas - SP
<http://lattes.cnpq.br/8362242242288010>

Rogério Alexandre Alves de Melo

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Diamantina – MG
<http://lattes.cnpq.br/7228897216984193>

José Izaquiel Santos da Silva

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Diamantina – MG
<http://lattes.cnpq.br/9481859974252755>

RESUMO: O uso de surfactantes é um método com grande potencial na Recuperação Avançada de Petróleo, mas, devido à dificuldade de se aumentar a viscosidade do fluido deslocante, a sua aplicação se torna limitada. Neste trabalho, propõe-se a obtenção de um tensoativo que seja capaz de ajustar a sua viscosidade de acordo com a variação da temperatura que o fluido irá

experimental durante o percurso de injeção nos reservatórios, ora aumentando a viscosidade, ora diminuindo. A metodologia utilizada foi descrita por CHEN et al. (2014), por meio de uma condensação por aquecimento do ácido esteárico com a de N,N-dimetil-1,3-propanodiamina (DMPDA). O material obtido se mostrou estável e reversível, ou seja, suas propriedades podem se modificar e voltar ao que eram inicialmente, e apresentou maior viscosidade na temperatura de 50°C. Devido ao grande gasto energético para obtenção do produto por meio da rota de condensação, foi proposta uma nova rota via cloreto de acila para obtenção de amidas a partir de ácidos carboxílicos.

PALAVRAS-CHAVE: Fluido, reservatório, tensoativo, recuperação avançada de petróleo.

DEVELOPMENT OF ADAPTABLE VISCOSITY SURFACTANT TO INCREASE OIL EXTRACTION IN ADVANCED OIL RECOVERY

ABSTRACT: The use of surfactants is a method with great potential in Advanced Oil Recovery, but, due to the difficulty of increasing the viscosity of the displacing fluid, its application becomes limited. In this work, it is proposed to obtain a surfactant that is capable of adjusting its viscosity according to the temperature variation of the fluid way during the injection path in the reservoirs, either increasing the viscosity, or decreasing it. The methodology used was described by CHEN et al. (2014), by heating condensation of stearic acid with that of N,N-dimethyl-1,3-propanediamine (DMPDA). The material obtained was shown to

be stable and reversible, its properties can change and return to what they were initially, and it showed higher viscosity at a temperature of 50°C. Due to the high energy expenditure to obtain the product through the condensation route, a new route via acyl chloride was proposed to obtain amides from carboxylic acids.

KEYWORDS: Fluid, reservoir, surfactant, advanced oil recovery.

1 | INTRODUÇÃO

Para atender a demanda mundial da energia advinda do petróleo, é necessário que existam métodos economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis para aumentar a eficiência de recuperação e obter um maior esgotamento dos reservatórios (BAHRAMINEJAD *et al.*, 2021). No processo de extração de petróleo, inicialmente, o óleo é obtido pela presença de um gradiente de pressão nos poços, porém, quando esse gradiente é insignificante, a produção é interrompida (AZIZ *et al.*, 2019). Para que a pressão do reservatório se mantenha alta, é feita uma inundação de água chamada de método secundário, mas, devido à baixa mobilidade existente entre o óleo e água, mais de 60% do petróleo ainda não é recuperado (LIU *et al.*, 2019), e, por isso, os métodos primários e secundários de recuperação de óleo não evitam que se tenha uma grande quantidade de óleo não recuperado (CHEN *et al.*, 2020). A terceira fase recebe o nome de Recuperação Avançada de Petróleo e usa diferentes mecanismos para aumentar a recuperação, como diminuição da tensão interfacial entre a água e o óleo, alteração da molhabilidade, controle de mobilidade e drenagem por gravidade (ELTOUM *et al.*, 2021).

Um método muito atraente na recuperação avançada de petróleo é a inundação por surfactantes. Eles são caracterizados por possuírem uma parte hidrofílica e uma parte hidrofóbica e assim podem interagir tanto com o óleo quanto com a água, levando à diminuição da tensão interfacial entre os dois fluidos e à alteração da molhabilidade das rochas proporcionando uma melhor mobilidade do óleo (KIANI *et al.*, 2019). A tensão interfacial é uma medida da energia que mantém a interface bifásica para estabilizar a separação dos líquidos. Assim, quando a tensão interfacial é baixa, essa interface bifásica se torna mais fácil de ser quebrada (DENG *et al.*, 2021). Estudos mostram que surfactantes eficientes podem reduzir significativamente a tensão interfacial. A baixa eficiência de diminuição da viscosidade e a perda de material por adsorção nas rochas, são os principais fatores que restringem uma melhor recuperação por inundação de surfactantes convencionais (WANG *et al.*, 2020).

Um desafio na Recuperação Avançada de Petróleo é aumentar a viscosidade da água de inundação para se aderir melhor à alta viscosidade dos hidrocarbonetos presentes nos reservatórios (CHEN *et al.*, 2014). Porém, fluidos com alta viscosidade podem causar problemas de incrustação, além de aumentar o gasto energético para injetá-lo no poço (KURNIA *et al.*, 2020).

O material desenvolvido neste estudo, possui como principal característica o aumento

da viscosidade proporcional ao aumento da temperatura, comportamento não descrito pela lei de Newton da viscosidade. Inicialmente, espera-se que o fluido seja pouco viscoso e, à medida que a temperatura aumentar, devido ao gradiente geotérmico, espera-se que o fluido possa se adaptar à essas condições e aumentar a viscosidade para proporcionar uma maior taxa de recuperação de óleo. Com isto, o objetivo deste estudo é sintetizar um tensoativo com as características descritas e obter uma rota de produção que proporcione uma maior viabilidade técnica econômica do processo de recuperação de petróleo.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Síntese do surfactante

Para a síntese do surfactante, foi utilizado o método descrito por Chen *et al.* (2014), que utiliza a rota de condensação por aquecimento. Foi utilizado um recipiente para banho de areia, um balão de fundo redondo com três bocas, refluxo de água para evitar evaporação dos produtos e um cilindro de nitrogênio gasoso para manter uma atmosfera inerte com a finalidade de eliminar produtos de oxidação indesejados - aparato apresentado na Figura 1.

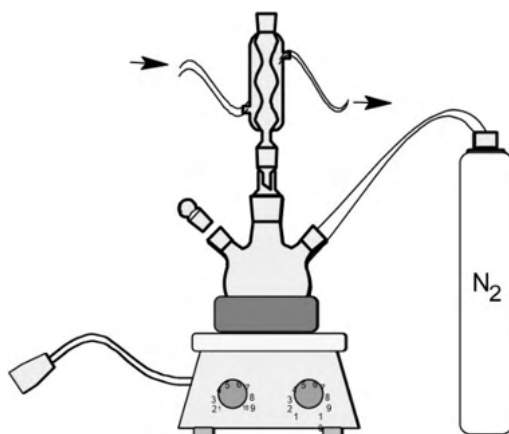


FIGURA 1. Representação do aparato experimental.

Fonte: Autores deste trabalho (2022)

Foram colocados 5,689g de ácido esteárico diretamente com 3,0645g de N,N-dimetil-1,3-propanodiamina (DMPDA), 0,6g de NaF e 0,45g de Al_2O_3 , monitorando a temperatura até que se mantivesse constante a $160^{\circ}C$. Após 6h de reação, foi introduzido no balão 1,021g de DMPDA para reagir por mais 4h, totalizando 10h de reação. O reagente Naf foi utilizado como catalisador da reação e o Al_2O_3 foi utilizado para absorver a água formada durante a condensação. O sólido formado foi lavado com uma solução gelada de acetona (150 mL) e água (10 mL). O sobrenadante, um líquido com cor amarela devido à

presença da diamina, foi retirado e descartado. O sólido úmido foi levado a estufa durante dezesseis horas. Depois de seco, foram adicionados 0,23g do sólido, 0,064g de ácido cítrico e 5g de água em um frasco de vidro fechado. A solução obtida foi aquecida no micro-ondas, processo repetido 3 vezes com diferentes tempos. A primeira vez deste aquecimento ocorreu durante 10 segundos, já a segunda e a terceira ocorreram por um tempo de 5 segundos cada uma. Logo em seguida, a solução foi colocada em uma estufa na temperatura de 50°C.

2.2 Proposta de mudança da rota de síntese

A rota de condensação utilizada neste artigo, para obtenção de uma amida, foi reavaliada devido à alta demanda energética da reação. Para isso, foi realizado um estudo na literatura de seus diferentes métodos de preparação.

A formação de ligações amida está entre as mais realizadas em indústrias químicas e farmacêuticas (PROCOPIO *et al.*, 2022). Devido à sua grande aplicação, principalmente para produção de medicamentos, diversos métodos são estudados para sua obtenção (NI *et al.*, 2022). A preparação de amidas catalisadas por enzimas (PETCHEY; GROGAN, 2019), para desenvolvimento de amidas secundárias e terciárias, amidação fotocatalisada de ácidos carboxílicos e aminas primárias (GU *et al.*, 2022), através da clivagem da ligação C-N e utilização de catalisadores heterogêneos (MARTÍN; CIRUJANO, 2022), para obtenção direta de amidas a partir da reação de ácidos carboxílicos com aminas, são alguns exemplos de técnicas mais atuais obtidas na literatura, para obtenção de amidas.

Métodos tradicionais propõem a pré-ativação do ácido carboxílico para que possa reagir com uma amina e obter a amida desejada (SANTOS; SILVA; MARQUES, 2020). Este processo foi descrito em 1833, pelos químicos alemães Carl Schotten e Eugen Baumann, que sintetizaram uma amida pela primeira vez, partindo de um cloreto de ácido na presença de amina, conhecida hoje como reação Schotten-Baumann (POTADAR *et al.*, 2018) (SCHOTTEN, 1884). Devido à sua larga utilização no campo industrial (DORR; FUERST, 2018), esse método de síntese se mostrou com grande potencial para substituição da atual rota de obtenção do surfactante, visto que com a pré-ativação do ácido esteárico, espera-se que ele possa reagir com a DMPDA para formar o produto com as características requeridas e com uma maior viabilidade técnica-econômica.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Síntese de condensação por aquecimento

O produto da reação de condensação é um sólido branco, Figura 2.a, que após reagir com o ácido cítrico se torna um líquido branco de baixa viscosidade, apresentado na Figura 2.b. Após os testes de aumento de temperatura o material apresentou significativo aumento na viscosidade, que pode ser observado na figura 2.c, com a diminuição gradativa

da temperatura o fluido voltou a ter baixa viscosidade. Os testes foram realizados diversas vezes e suas propriedades não foram perdidas.

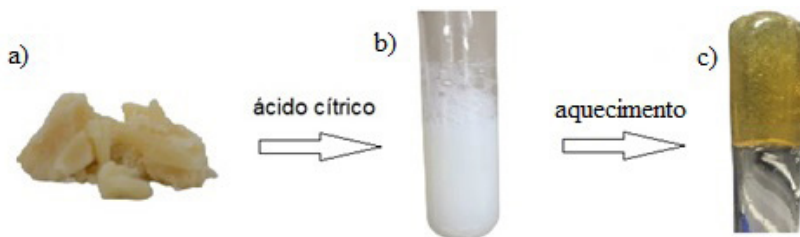


FIGURA 2. Representação do: a) sólido obtido após o fim da reação de condensação por aquecimento, b) fluido à temperatura ambiente, c) fluido à 50°C.

Fonte: Autores deste trabalho (2022)

As características apresentadas pelo fluido, possuem grande interesse na engenharia química, já que com essas propriedades de ajuste de viscosidade o fluido poderia se adaptar às diferentes condições de pressão e temperatura em que será submetido no caminho percorrido até o reservatório de petróleo, tendo um menor gasto energético no seu bombeamento. Além disso, com o aumento da viscosidade, o fluido deslocante, em determinadas condições, terá a viscosidade semelhante à do óleo, e conseqüentemente semelhante mobilidade. Logo, acontece um bloqueio dos caminhos preferenciais, fazendo com que o fluido percorra uma maior área do meio poroso aumentando a eficiência de varrido (MARQUES *et al.*, 2013).

Dados obtidos e apresentados por Bird *et al.* (2004), mostram a dependência da viscosidade com a temperatura, permitindo concluir que o comportamento esperado de um líquido Newtoniano seja a diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura. Isto se deve ao fato de o aumento de temperatura provocar um aumento das distâncias intermoleculares reduzindo então as forças de atração entre as moléculas (SHAMES, 1999). Porém, o material desenvolvido, até a temperatura de 50°C, apresenta um comportamento contrário, aumentando a viscosidade com o aumento da temperatura. Devido a essa característica, o material não pode ser descrito segundo a lei de Newton da viscosidade, sendo classificado como um fluido não newtoniano. A relação de tensão e deformação para fluidos não newtonianos não é prevista em uma lei como os fluidos newtonianos, já que irão se comportar de maneiras diferentes em sistemas com condições diferentes, o que não permite prever o seu comportamento, sendo necessário um estudo das características apresentadas pelo fluido nas condições em que será submetido (WAHAB *et al.*, 2020).

Na síntese do surfactante, o ácido carboxílico (ácido esteárico) é inicialmente colocado em contato com uma amina primária (DMPDA) que, por meio de uma reação de condensação por aquecimento, forma uma amida (A) e após reagir com o ácido cítrico,

finalmente, o produto final é obtido, a reação é apresentada na Figura 3.

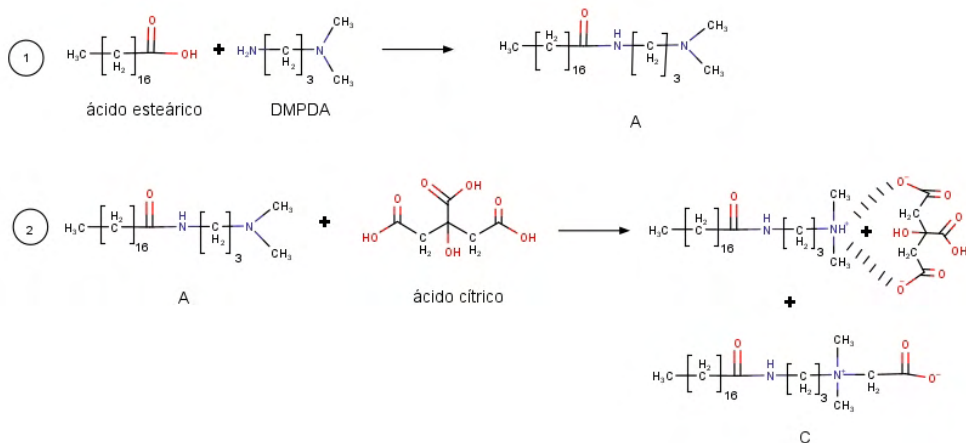


FIGURA 3. Etapas da reação para obtenção do surfactante como produto C.

Fonte: Autores deste trabalho (2022)

Ácidos carboxílicos não sofrem reação de substituição acílica com aminas em temperatura ambiente, chegando ao produto final da reação em forma de um sal carboxilato de amônio, além disso, devido à baixa reatividade do íon carboxilato, a reação não ocorre em meio aquoso. Por isso, é necessário retirar a água que irá se formar no meio e aquecer a mistura, levando à formação de um intermediário tetraédrico e posteriormente sua desidratação, já que a saída de uma molécula de água alivia a tensão existente no carbono tetraédrico, contribuindo para uma maior estabilidade da molécula, e assim é formada a amida desejada (SOLOMONS, T. W., 2018), como apresentado na Figura 4.

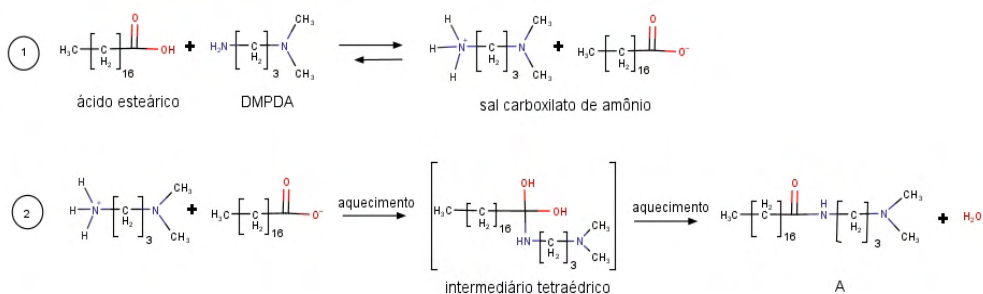


FIGURA 4. Mecanismo da reação de condensação por aquecimento do ácido esteárico com DMPDA para formação do produto A.

Fonte: Autores deste trabalho (2022)

A obtenção de amidas a partir de ácidos carboxílicos, utilizando a rota de condensação por aquecimento, é uma alternativa que pode ser substituída e melhorada, pois para que essa reação aconteça é necessário um grande gasto de energia na desidratação do sal. Além disso, devido à alta temperatura que o sistema deve ser submetido, os produtos formados podem se transformar em outros produtos indesejados, o que conseqüentemente irá levar a um menor rendimento da reação e ainda submeter o sistema à condições rigorosas de operação (SOLOMONS, T. W., 2018).

Com a pré-ativação do ácido carboxílico, transformando-o em um cloreto de acila, e seu tratamento com a amina desejada, espera-se que seja possível conduzir a reação em temperatura ambiente e com um maior rendimento, já que condições mais brandas de temperatura evitam que os produtos formados se transformem em outros produtos indesejados.

3.2 Rota de substituição nucleofílica acílica

Devido ao pKa de ácidos carboxílicos ser menor que o de aminas, quando em contato, imediatamente o ácido doar um próton, formando um íon carboxilato que não é reativo e uma amina protonada que não é um nucleófilo. Para obter uma amida, é interessante trabalhar com um derivado de ácido mais reativo, que possa reagir com a DMPDA, sem um grande gasto energético. Os compostos carbonilados possuem uma polaridade devido ao oxigênio ser mais eletronegativo que o carbono, isso resulta na significativa reatividade desses compostos, já que o carbono carbonílico, com hibridização sp^2 , tem um centro eletrofílico bem acentuado resultante da ligação com o oxigênio, e, por isso, está passível de sofrer um ataque nucleofílico, sendo que a velocidade da reação irá depender dos grupos ligados ao carbono sp^2 , frente aos reagentes disponíveis.

Um composto derivado de ácido carboxílico, ao sofrer um ataque nucleofílico, irá imediatamente romper a ligação π carbono-oxigênio, formando um intermediário tetraédrico de hibridização sp^3 , com dois grupos eletronegativos ligados ao carbono tetraédrico. De modo geral, o carbono tetraédrico é instável pois os dois grupos que estão ligados são eletronegativos, logo, haverá a saída de um desses grupos da estrutura como grupo abandonador e assim restaurar a hibridização sp^2 no carbono carbonílico, após um par de elétrons disponíveis no oxigênio refazer a dupla ligação com o carbono e expulsar um dos grupos com o par de elétrons da ligação. O que irá determinar qual grupo será abandonador e conseqüentemente se a reação irá ocorrer ou não, será a basicidade de cada um. Sabe-se que quanto mais fraca for a base, melhor ela será como grupo de saída e isso ocorre porque uma base fraca não compartilha seus elétrons tão bem quanto uma base forte, logo a ligação se torna fraca e mais fácil de ser rompida, além de proporcionar uma melhor estabilidade para a possível carga que se forma ao se desligar do carbono sp^3 . A Figura 5 mostra as possíveis formas da reação ocorrer, sendo A e Y eletronegativos.

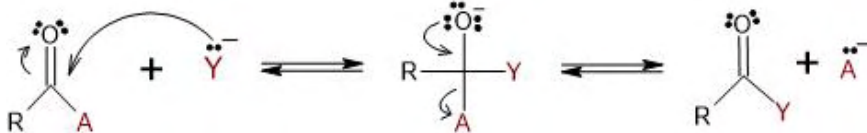


FIGURA 5. Mecanismo de reação de substituição nucleofílica acílica.

Fonte: Autores deste trabalho (2022)

O nucleófilo que ataca o carbono, representado por Y^- , deve ser uma base mais forte que o grupo A para que a reação aconteça. Se a basicidade do grupo Y for menor, ele pode atuar como nucleófilo, porém, será ele o grupo abandonador, o que não permite que a reação de substituição nucleofílica acílica ocorra. Há a possibilidade de que a basicidade dos dois grupos seja similar, assim, se isso acontecer, ambos podem ser o grupo de saída da molécula, e, ao final da reação, reagentes e produtos estarão presentes no meio. Por isso, para que a reação ocorra com o equilíbrio fortemente deslocado para os produtos, é necessário que o grupo ligado ao carbono sp^2 seja um bom grupo abandonador, o que dará ao composto uma alta reatividade, possibilitando que a reação ocorra sem fornecimento externo de energia. Dentre os vários derivados de ácido existentes, os cloretos de acila são os mais reativos, pois possuem um cloro ligado ao carbono carbonílico que é um excelente grupo abandonador e pode reagir para formar amidas.

Para isso, o cloreto de acila pode reagir com amônia, amina primária ou amina secundária. A DMPDA é uma amina primária com um centro nucleofílico. O nucleófilo ataca o centro eletrofílico do cloreto de acila, formando o intermediário tetraédrico, e o par de elétrons disponíveis do oxigênio refaz a dupla ligação expulsando o cloro e restituindo a hibridização sp^2 do carbono, formando a amida e liberando, também, HCl como produto. Por ser um ácido forte, o HCl irá protonar a amina presente no meio impedindo que ela atue como nucleófilo, para impedir que isso ocorra é necessário trabalhar com um excesso da amina, pois assim ela estará livre para o ataque nucleofílico. Para utilizar essa rota de síntese é necessário tratar o ácido esteárico com reagentes especiais. Para isso, utiliza-se cloretos derivados de ácidos inorgânicos, como o PCl_5 , PCl_3 e $SOCl_2$, todos estes reagem com ácidos carboxílicos formando cloreto de acila com bom rendimento (BRUICE, 2006). Neste estudo, o cloreto de tionila, $SOCl_2$, foi escolhido para conduzir a reação.

O mecanismo apresentado na Figura 6 mostra como o ácido carboxílico irá reagir com o cloreto de tionila. O cloreto de tionila possui um átomo de enxofre como um centro eletrofílico acentuado, já que está ligado ao oxigênio que é um átomo muito eletronegativo e a dois átomos de cloro que são bons grupos abandonares, acentuando o caráter positivo parcial do enxofre. Como a ligação π carbono-oxigênio no ácido carboxílico tem o par de elétrons mais disponível para um ataque nucleofílico, ela irá atacar o eletrófilo no cloreto de tionila formando um intermediário que usa um par de elétrons livres do oxigênio para

refazer a dupla ligação e expulsar um ânion cloreto. O íon cloreto liberado pode agora reagir com o carbono eletrofílico sp^2 e desfazer novamente a ligação π carbono-oxigênio, o que forma um intermediário tetraédrico altamente reativo, liberando SO_2 e HCl para restituir a estabilidade da molécula. Espera-se que o cloreto de acila seja obtido por meio de uma reação que ocorra facilmente e com bom rendimento devido à alta reatividade dos intermediários (BRUICE, 2006).

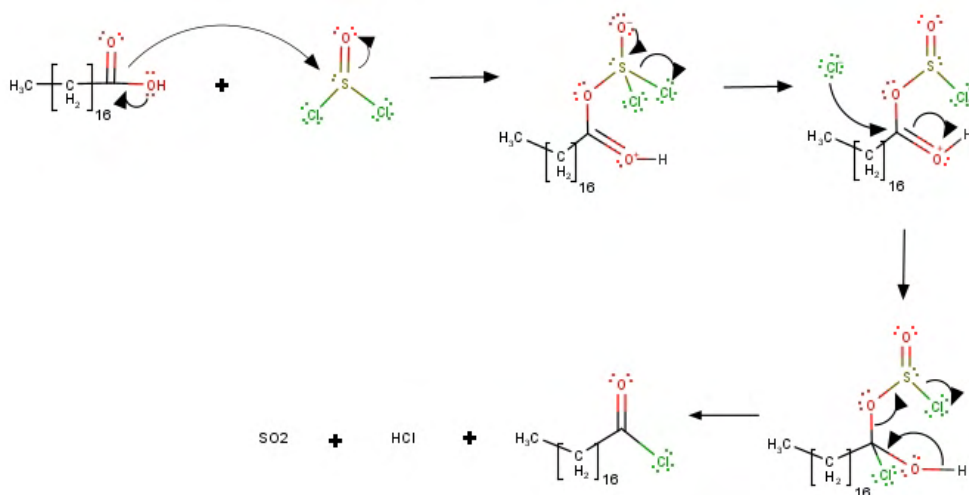


FIGURA 6. Mecanismo de reação do ácido esteárico com cloreto de tionila.

Fonte: Autores deste trabalho (2022)

O cloreto de acila formado é um composto muito mais reativo que o ácido carboxílico, e pode, então, ser tratado com a DMPDA para obter uma amida, como explicado. Como os reagentes não precisam de fornecimento externo de energia para reagirem, espera-se que a reação ocorra em temperatura ambiente e com um rendimento final maior do que a rota de condensação por aquecimento.

4 | CONCLUSÃO

Até a temperatura de $50^{\circ}C$, o material exibiu comportamento não newtoniano e apresentou estabilidade e reversibilidade nos diversos testes realizados. Devido a sensibilidade da síntese de condensação, a proposta de mudança na rota de síntese possibilita a expectativa obtenção do surfactante em condições amenas de pressão e temperatura, o que caracteriza uma maior viabilidade técnica, e possivelmente um aumento no rendimento de reação favorecendo a economia do processo. Como trabalhos futuros, além da mudança de rota de síntese, propõe-se a implementação de testes do material em reservatórios simulados de petróleo, além de um modelo que descreva o comportamento

do fluido.

REFERÊNCIAS

- AZIZ, U. A.; ADNAN, N.; SOHRI, M. Z.R.; MOHSHIM, D. F.; IDRIS, A. K.; AZMAN, M. A. **Characterization of Anionic–Nonionic Surfactant Mixtures for Enhanced Oil Recovery**. Journal of Solution Chemistry, v. 48, n. 11–12, p. 1617–1637, 2019. DOI: 10.1007/s10953-019-00902-1
- BAHRAMINEJAD, H.; MANSHAD, A. K.; KESHAVARZ, A. **Characterization, Micellization Behavior, and Performance of a Novel Surfactant Derived from Gundelia tournefortii Plant during Chemical Enhanced Oil Recovery**. Energy and Fuels, v. 35, n. 2, p. 1259–1272, 2021. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.0c03272
- Bird, R.B., Stewart, W.E, e Lightfoot, E.N. **Fenômenos de Transporte**. 2. ed, Editora LTC, 2004.
- BRUICE, Paula Yurkanis. **Química orgânica**. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. v.2.
- CHEN, I. C.; YEGIN, C.; ZHANG, M.; AKBULUT, M. **Use of pH-responsive amphiphilic systems as displacement fluids in enhanced oil recovery**. SPE Journal, v. 19, n. 6, p. 1035–1046, 1 dez. 2014. URL: <https://onepetro.org/SJ/article-abstract/19/06/1035/205412/Use-of-pH-Responsive-Amphiphilic-Systems-as?redirectedFrom=fulltext>
- CHEN, Q.; JIANG, X.; ZHEN, J. **Preparation and characterization of temperature sensitive iron oxide nanoparticle and its application on enhanced oil recovery**. Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 198, p. 108-211, 2020. DOI: 10.1016/j.petrol.2020.108211
- DENG, X.; TARIQ, Z.; MURTAZA, M.; PATIL, S.; MAHMOUD, M.; KAMAL, M. S. **Relative contribution of wettability Alteration and interfacial tension reduction in EOR: A critical review**. Journal of Molecular Liquids, v. 325, p. 115-175, 2021. DOI: 10.1016/j.molliq.2020.115175 .
- DORR, B. M.; FUERST, D. E. **Enzymatic amidation for industrial applications**. Current Opinion in Chemical Biology, v. 43, p. 127–133, 1 abr. 2018. DOI: 10.1016/J.CBPA.2018.01.008
- ELTOUM, H.; YANG, Y. L.; HOU, J. R. **The effect of nanoparticles on reservoir wettability alteration: a critical review**. Petroleum Science, v. 18, n. 1, p. 136–153, 2021. DOI: 10.1007/s12182-020-00496-0
- GU, C.; WANG, S.; ZHANG, Q.; XIE, J. **Visible-light-mediated amidation from carboxylic acids and tertiary amines via C–N cleavage**. Chemical Communications, v. 58, n. 39, p. 5873–5876, 1 jan. 2022. DOI: 10.1039/D2CC01655A
- KIANI, S.; ROGERS, S. E.; SAGISAKA, M; ALEXANDER, S; BARRON, A. S. **A New Class of Low Surface Energy Anionic Surfactant for Enhanced Oil Recovery**. Energy and Fuels, v. 33, n. 4, p. 3162–3175, 2019. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.9b00391
- KURNIA, I.; ZHANG, G.; HAN, X.; YU, J. **Zwitterionic-anionic surfactant mixture for chemical enhanced oil recovery without alkali**. Fuel, v. 259, n. September 2019, p. 116236, 2020. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116236

LIU, R.; DU, D.; PU, W.; PENG, Q.; TAO, Z.; PANG, Y. **Viscoelastic displacement and anomalously enhanced oil recovery of a novel star-like amphiphilic polyacrylamide**. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 142, p. 369–385, 2019. DOI: 10.1016/j.cherd.2018.12.021.

MARQUES, L. S.; QUINTELLA, C. M.; NETO, G. J. M.; CAVALCANTI, D. F.; SANTOS, L. T. S. **Polímeros Como Métodos Para Recuperação Avançada De Petróleo**. *Cadernos de Prospecção*, v. 6, n. 4, p. 534–542, 2013. DOI: 10.9771/S.CPROSP.2013.006.057.

MARTÍN, N.; CIRUJANO, F. G. **Heterogeneous catalytic direct amide bond formation**. *Catalysis Communications*, v. 164, p. 106420, 1 abr. 2022. DOI: 10.1016/J.CATCOM.2022.106420

NI, S. F.; HUANG, G.; CHEN, Y.; WRIGHT, J. S.; LI, M.; DANG, L. **Recent advances in γ -C(sp³)-H bond activation of amides, aliphatic amines, sulfanilamides and amino acids**. *Coordination Chemistry Reviews*, v. 455, p. 214255, 15 mar. 2022. DOI: 10.1016/J.CCR.2021.214255

PETCHEY, M. R.; GROGAN, G. **Enzyme-Catalysed Synthesis of Secondary and Tertiary Amides**. *Advanced Synthesis and Catalysis*, v. 361, n. 17, p. 3895–3914, 3 set. 2019. DOI: 10.1002/ADSC.201900694

POTADAR, S. M.; MALI, A. S.; WAGHMODE, K. T.; CHATURBHUIJ, G. U. **Repurposing n-butyl stannic acid as highly efficient catalyst for direct amidation of carboxylic acids with amines**. *Tetrahedron Letters*, v. 59, n. 52, p. 4582–4586, 26 dez. 2018. DOI: 10.1016/J.TETLET.2018.11.036

PROCOPIO, D.; SICILIANO, C.; TROMBINO, S.; DUMITRESCU, D. E.; SUCIU, F.; DI GIOIA, M. L. **Green solvents for the formation of amide linkages**. *Organic & Biomolecular Chemistry*, v. 20, n. 6, p. 1137–1149, 1 jan. 2022. DOI: 10.1039/D1OB01814K

SANTOS, A. S.; SILVA, A. M. S.; MARQUES, M. M. B. **Sustainable Amidation Reactions – Recent Advances**. *European Journal of Organic Chemistry*, v. 2020, n. 17, p. 2501–2516, 2020. DOI 10.1002/ejoc.202000106

SCHOTTEN, C. **Ueber die Oxydation des p-Toluidins**. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, v. 34, n. 1, p. 1274–1284, 1901. DOI: 10.1002/ejoc.202000106

SOLOMONS, T.W. Graham; SNYDER, C. R.; FRYHLE, Craig B. **Química orgânica**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. v. 1 / 2018

WAHAB, H. A.; ZEB, H.; BHATTI, S.; GULISTAN, M.; KADRY, S.; NAM, Y. **Numerical Study for the Effects of Temperature Dependent Viscosity Flow of Non-Newtonian Fluid with Double Stratification**. *Appl. Sci.* 2020, 10, 708. DOI: 10.3390/app10020708.

WANG, C.; ZHONG, L.; CAO, Z.; LIU, Y.; ZOU, J.; WANG, Q. **Synergistic Collaboration between a Viscosity Reducer and a Surfactant for in Situ Emulsion Formation to Enhance Heavy-Oil Recovery**. *Energy and Fuels*, v. 34, n. 1, p. 95–102, 2020. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.9b02796

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ácido polilático 105, 106
Adhesive joints 111, 124, 125, 127
Análise de vibração 62
Arranjo físico posicional 128, 129, 130, 131
Atraso de ignição 62, 63, 64, 65, 66, 67

B

Bateria eletrônica 149, 150, 151, 152, 155, 157
Biomassa 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 19

C

Cianobactérias 13, 14, 15, 16, 17, 19
Concreto 68, 69, 73, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 99, 100, 103, 104
Construção civil 68, 69, 73, 78, 80, 81, 82, 104

D

Desenho geométrico 158, 159, 160, 162, 163, 172
Distribuição de água 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 47, 48, 49, 50

E

Economia 34, 59, 78, 163, 180, 183, 185, 188
Educação 146, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 171, 172, 185, 187
Efluente sintético 13, 16
Empreendedorismo 185, 186, 187, 188, 189
Estruturas mistas 82, 83, 84, 86, 88, 94, 103, 104

F

Fluido 51, 53, 55, 60
Friction stir welding 111, 115, 122, 126, 127

G

Gesso 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

I

Impressora 3D 105, 106, 108, 110

L

Logística reversa 21, 22, 23, 26, 30, 31, 32

M

Macromedição 36

Madeira 6, 8, 69, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Matriz energética 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10

Micromedição 36

Música 149, 150, 151, 157

O

Otimização 128, 143

P

Planejamento estratégico 2, 185

Plano de negócio 179

Proteção 4, 72, 77, 85, 174, 175, 176

R

Reaproveitamento 78, 80

Recuperação avançada de petróleo 51, 52

Reservatório 18, 51, 52, 55

S

Segurança da informação 173, 174, 175, 176, 181, 182, 183, 184

Segurança estrutural 82

Sensor piezoelétrico 62, 63, 64, 65, 66

Sistema de ligação 82, 83, 85, 86, 90, 92, 94, 101, 103

Sustentabilidade 11, 21, 22, 68, 78, 80

T

Tear modular 107, 110

Tecnologia 7, 19, 68, 69, 81, 105, 106, 110, 125, 149, 150, 151, 152, 158, 159, 160, 162, 164, 170, 171, 175, 176, 177, 182, 183, 184, 190

Tensoativo 51, 53

Toxicidade 13, 14, 15, 17, 106

Tratamento de efluente 13

www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



@atenaeditora



www.facebook.com/atenaeditora.com.br



ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 3



Atena
Editora

Ano 2022

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 3

