



As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

**Atena**
Editora
Ano 2021



As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

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.



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 Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Prof^ª Dr^ª 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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-769-7

DOI 10.22533/at.ed.697211102

1. Engenharia. I. Tullio, Franciele Braga Machado (Organizador). II. Machado, Lucio Mauro Braga (Organizador). III. 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

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.

APRESENTAÇÃO

A obra “As Engenharias Agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento” contempla vinte capítulos em que os autores abordam suas pesquisas aplicadas nos mais diversos setores da engenharia.

Pesquisas relacionadas a propriedades físico-químicas de materiais e desenvolvimento de novos produtos com a finalidade de aplicar na indústria.

Desenvolvimento de novos materiais e aplicação de inteligência artificial para utilização na medicina também são abordados.

Geração de energia, desenvolvimento de projetos sustentáveis e tratamento de efluentes são assuntos em evidência no meio acadêmico.

Por fim, estudo sobre a gestão de projetos de obras de arte especiais com a finalidade de auxiliar os gestores na tomada de decisões e intervenções nas mesmas.

Esperamos que esta obra promova ao leitor o desejo de desenvolver ainda mais estudos, agregando mais conhecimento em setores de pesquisa e desenvolvimento. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CONSTRUÇÃO DE IMPELIDORES POR MANUFATURA ADITIVA: UMA METODOLOGIA PARA O ENSINO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS

Tadeu Henrique Aparecido da Silva

Monica Taís Siqueira D'Amelio

DOI 10.22533/at.ed.6972111021

CAPÍTULO 2..... 17

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ E PERÓXIDO NO ÓLEO DE FRITURA UTILIZADO NO REFEITÓRIO DO IFMT – CAMPUS CONFRESA

Fábio Gonçalves Marinho

Felipe Gimenes Rodrigues Silva

Ulisses Alberto Rodrigues da Silva

Milton Fantinell Junior

Carlos Bonfim Gonçalves Marinho

Geovana Rodrigues Soares

DOI 10.22533/at.ed.6972111022

CAPÍTULO 3..... 22

ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DESCONTÍNUA DE CaCO_3 E Ca(OH)_2 EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES VISANDO A SEPARAÇÃO DE PARTICULADO

Dinalva Schein

Carolina Smaniotto Fronza

Gabriela Aline Kroetz Bremm

Isaac dos Santos Nunes

Andréia Monique Lermen

Naiara Jacinta Clerici

Paula Gabriela Dalla Porta

Suelyly Ribeiro Hollas

DOI 10.22533/at.ed.6972111023

CAPÍTULO 4..... 33

FUNCIONALIZAÇÃO DO TERPOLÍMERO ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO COM ANIDRIDO MALEICO – UMA REVISÃO DA LITERATURA

Carlos Bruno Barreto Luna

Danilo Diniz Siqueira

Eduardo da Silva Barbosa Ferreira

Edson Antonio dos Santos Filho

Edcleide Maria Araújo

DOI 10.22533/at.ed.6972111024

CAPÍTULO 5..... 54

ANÁLISE DE DESGASTE NAS LASTRINAS DA CAIXA MATRIZ NA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Tiago da Silva Fernandes

Anderson Daleffe

DOI 10.22533/at.ed.6972111025

CAPÍTULO 6..... 68

ANÁLISE QUÍMICA E ÂNGULO DE CONTATO DE FILMES FORMADOS POR BLENDA DE POLIESTIRENO/POLI(CAPROLACTONA) FOTODEGRADADAS POR LUZ ULTRAVIOLETA

Catarina Barbosa Levy

Maria Oneide Silva de Moraes

Walter Ricardo Brito

João de Deus Pereira de Moraes Segundo

DOI 10.22533/at.ed.6972111026

CAPÍTULO 7..... 75

APLICAÇÃO DE NANOBIMATERIAIS NO TRATAMENTO DE FERIDAS

Rayanne Cornelio Silva Carvalho

Deuzuita dos Santos Freitas Viana

Vicente Galber Freitas Viana

DOI 10.22533/at.ed.6972111027

CAPÍTULO 8..... 87

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE FERROCARBONILA EM MATERIAIS ABSORVEDORES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Cecília Maia Corsato

Nicholas Eras Fonseca

Bruno Ferraz Donati

Gustavo Freitas de Souza

Rademaks Bento de Oliveira

Valdirene Aparecida da Silva

DOI 10.22533/at.ed.6972111028

CAPÍTULO 9..... 96

INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS EM COMPÓSITO CONCRETO

Gabriela T. Santiago

Matheus Vosgnach

Vinicio Ceconello

Edson Francisquetti

Mara Andrade Zeni

DOI 10.22533/at.ed.6972111029

CAPÍTULO 10..... 105

ANÁLISE DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO SOLAR DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA LOCALIDADES NO BAIXO TOCANTINS – PA

Marinaldo de Jesus dos Santos Rodrigues

Silvio Bispo do Vale

Tatiane Perna Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.69721110210

CAPÍTULO 11	117
SIMULAÇÃO ENERGÉTICA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR DO AR EM AGÊNCIAS BANCÁRIAS	
Alexandre Fernandes Santos	
Jeová Alves Diniz Junior	
Heraldo José Lopes de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.69721110211	
CAPÍTULO 12	131
USO DO SISTEMA DX (EXPANSÃO DIRETA) PARA SISTEMAS GEOTÉRMICOS EM CURITIBA	
Alexandre Fernandes Santos	
Paulo Henrique Colombo	
Heraldo José Lopes de Souza	
Fabio Francisco Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.69721110212	
CAPÍTULO 13	143
MÉTODOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA APLICADOS NA CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE APNEIA UTILIZANDO SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMA	
João Pedro dos Santos Silva	
Pedro Henrique dos Santos Almeida	
Letícia Chaves Lima Cananéa	
Helder Alves Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.69721110213	
CAPÍTULO 14	153
ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONTROLE VOLUMÉTRICOS E DINÂMICOS EM SISTEMAS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS	
Juliana Gomes da Silva	
Savio Raider Matos Sarkis	
DOI 10.22533/at.ed.69721110214	
CAPÍTULO 15	173
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO MULTICRITÉRIO NO PROCESSO DE DECISÃO DE PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AMAZÔNIA AZUL	
Andrezza de Oliveira Agápito	
Dalessandro Soares Vianna	
Marcilene de Fátima Dianin Vianna	
Edwin Benito Mitacc Meza	
DOI 10.22533/at.ed.69721110215	
CAPÍTULO 16	185
IMPLANTAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM COMPLEXO ALIMENTÍCIO INDUSTRIAL	
Yuri de Oliveira Godoy	

Aldo Muro Júnior

DOI 10.22533/at.ed.69721110216

CAPÍTULO 17..... 196

AVANÇOS PARA MELHORIA DA RESISTÊNCIA À INCRUSTAÇÃO EM MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS OLEOSAS: uma revisão

Victor José Romão dos Santos

Suellen Cristine Meira

DOI 10.22533/at.ed.69721110217

CAPÍTULO 18..... 211

ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM BARRAGEM DE TERRA DO ESTADO DO CEARÁ

Fernando Feitosa Monteiro

Andressa de Araujo Carneiro

Yago Machado Pereira de Matos

Giovanna Monique Alelvan

DOI 10.22533/at.ed.69721110218

CAPÍTULO 19..... 222

A GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS MUNICIPAIS: CONCEPÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS APLICADO ÀS PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS

André Felipe Bozio

Vivian da Silva Celestino Reginato

DOI 10.22533/at.ed.69721110219

CAPÍTULO 20..... 240

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DO PORTO MARAVILHA, RIO DE JANEIRO: TRANSFORMAÇÕES URBANAS

Amanda Martins Marques da Silva

Gisele Silva Barbosa

Patricia Regina Chaves Drach

Eduardo Praun Machado

Victor Marques Zamith

DOI 10.22533/at.ed.69721110220

SOBRE OS ORGANIZADORES 255

ÍNDICE REMISSIVO..... 256

CAPÍTULO 4

FUNCIONALIZAÇÃO DO TERPOLÍMERO ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO COM ANIDRIDO MALEICO – UMA REVISÃO DA LITERATURA

Data de aceite: 01/02/2021

Carlos Bruno Barreto Luna

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/3715843582747323>

Danilo Diniz Siqueira

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/2749678246476666>

Eduardo da Silva Barbosa Ferreira

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/6980905769610776>

Edson Antonio dos Santos Filho

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/7739936167795845>

Edcleide Maria Araújo

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/1097999681102529>

RESUMO: O terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) é um termoplástico de engenharia amplamente utilizado, devido à alta resistência ao impacto e à boa rigidez. Uma maneira de ampliar a faixa de aplicação do ABS é por meio da modificação química, tendo em vista o enxerto de grupos funcionais na cadeia. Atualmente, há trabalhos experimentais sobre o processo de funcionalização do ABS. Porém, os estudos são conduzidos de forma aleatória, ou seja,

com diferentes condições de processamento e parâmetros operacionais. Portanto, este trabalho corresponde a uma revisão da literatura, centrada especificamente na funcionalização do ABS com o anidrido maleico (MA). O tipo de processamento, o iniciador de polimerização, o mecanismo de reação e os principais resultados são apresentados. A modificação química do ABS é mais viável do ponto de vista industrial por meio do estado fundido, utilizando o peróxido de dicumila (DCP) como iniciador. O mecanismo de reação de enxertia do ABS é mais propenso na região do butadieno. Em geral, a modificação estrutural indica o aparecimento de uma nova banda em 1780 cm^{-1} , atribuída à carbonila do MA, conforme a análise de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). O grau de enxertia de MA na cadeia do ABS é dependente das condições de processamento e do teor do grupo funcional utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: ABS, Modificação química, Anidrido maleico, Mecanismo de reação.

ACRYLONITRILLA-BUTADIENE-STYRENE TERPOLYMER FUNCTIONALIZATION WITH MALEIC ANHYDRIDE - A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) terpolymer is a widely used engineering thermoplastic due to its high impact resistance and good rigidity. One way to expand the application range of ABS is through chemical modification, with a view to grafting functional groups into the chain. Currently, there are experimental works on the ABS functionalization process. However, the

studies are conducted at random, i.e. with different processing conditions and operational parameters. Therefore, this work corresponds to a literature review, focusing specifically on the functionalization of ABS with maleic anhydride (MA). The type of processing, the polymerization initiator, the reaction mechanism and the main results are presented. The chemical modification of ABS is more viable from an industrial point of view through the molten state, using dicumyl peroxide (DCP) as an initiator. The ABS graft reaction mechanism is more prone in the butadiene region. In general, the structural modification indicates the appearance of a new band in 1780 cm^{-1} , attributed to the carbonyl of the MA, according to the analysis of spectroscopy in the infrared with Fourier transform (FTIR). The MA grafting degree in the ABS chain is dependent on the processing conditions and the content of the functional group used.

KEYWORDS: ABS, Chemical modification, Maleic anhydride, Reaction mechanism.

1 | INTRODUÇÃO

O terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) apresenta uma estrutura complexa com três monômeros distintos (Braga et al., 2019). O ABS apresenta uma fácil capacidade de processamento, alta resistência ao impacto e boa rigidez, sendo considerado um polímero de engenharia (Oliveira et al., 2016; Debbah et al., 2018). Além disso, o ABS demonstra uma combinação favorável de propriedades térmicas e mecânicas (Rutkowski e Levin, 1986). As diferentes propriedades podem ser seletivamente aprimoradas para aplicações específicas pela modificação das proporções relativas dos componentes (Simielli e Santos, 2010). Porém, no caso para aplicação como modificador de impacto de outros polímeros de engenharia com grupos funcionais na estrutura molecular, torna-se necessário realizar a funcionalização (Gezaz e Khoshhal, 2017).

A funcionalização do ABS por meio do enxerto de anidrido maleico (MA) na presença de peróxido como iniciador tem recebido muita atenção nas últimas décadas (Elmaghor et al., 2004; Manaf et al., 2017). O ABS funcionalizado foi preparado com sucesso por solução e fusão. Por isso, o ABS-g-MA modificado quimicamente tem sido amplamente utilizado para compatibilização de misturas de poliamida 6/ABS e, ao mesmo tempo, na tenacificação da poliamida 6, com o desenvolvimento de misturas de PA6/ABS-g-MA (Xu et al., 2008). O sucesso comercial dessas misturas pode ser atribuído aos altos níveis de propriedades mecânicas, quando se adiciona a quantidade ideal do ABS-g-MA, com um grau de enxertia suficiente de anidrido maleico para reagir na mistura (Tomic e Marinkovic, 2020). Devido à importância comercial da funcionalização do ABS, a comunidade acadêmica investigou diferentes teores de monômero funcional e do iniciador de polimerização, assim como diferentes parâmetros de processamento: perfil de temperatura, velocidade de rotação e tipo de equipamento (Qi et al., 2003). Porém, na literatura, o estudo da funcionalização do ABS com anidrido maleico não segue um padrão, ou seja, não há uma metodologia definida para os parâmetros operacionais. Em visto disso, torna-se importante realizar uma compilação desses dados sobre a funcionalização do ABS.

No que se refere à temática abordada nesta revisão da literatura, especificamente

a funcionalização do ABS com anidrido maleico, não se localizou menção na literatura especializada tratando do agrupamento dos principais trabalhos desenvolvidos, de forma que o presente estudo pode contribuir para a literatura científica. Nesse caso, em decorrência da importância e relevância da temática abordada, justifica-se a publicação do presente trabalho. Portanto, o presente trabalho aborda uma revisão da literatura sobre a funcionalização do ABS com o anidrido maleico (MA). Será apresentada uma síntese dos principais trabalhos da literatura, o mecanismo de reação de enxertia e a utilização como modificador de impacto da poliamida 6.

2 | METODOLOGIA

A revisão de literatura pode ser classificada conforme seu propósito, abrangência, função e tipo de análise desenvolvida (Motta et al., 2016). No que tange ao propósito, a presente revisão aborda um tema específico, reunindo os vários trabalhos desenvolvidos sobre a funcionalização do terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), bem como sua aplicação como modificador de impacto. Referente à abrangência, este estudo se trata de uma revisão temática, centrada especificamente na funcionalização do ABS com o grupo funcional anidrido maleico (MA). Em termos da função, este trabalho é de caráter técnico, por reunir a literatura referente a um tema industrial, possibilitando avaliar os diversos parâmetros utilizados, como teor de anidrido maleico, teor de peróxido, tipo de processamento, velocidade dos rotores e a temperatura utilizada. Quanto ao tipo de análise empregada, o trabalho é informativo, na medida em que exibe diversos parâmetros de processamento e o grau de enxertia de anidrido maleico obtido. Em geral, a revisão apresentada é uma síntese da funcionalização do ABS com anidrido maleico (MA) e serve como um guia de consulta dos artigos completos.

Para a revisão bibliográfica realizou-se buscas no banco de dados Web of Science e Google Acadêmico, utilizando-se os seguintes termos de pesquisa: Funcionalização/Functionalization, Anidrido Maleico/Maleic Anhydride, Enxertia do ABS/ABS grafting, Funcionalização do ABS/ABS functionalization e Funcionalização de Polímeros/Polymers functionalization. Sendo válidos os resultados que apresentassem os termos descritos nos campos de pesquisa título, resumo e palavras-chave, sem exclusão de trabalhos por ano de publicação até a data da pesquisa.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS)

A partir de 1948, quando foi introduzido no mercado norte-americano pela U.S. Rubber Company, o terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) tem se expandido continuamente em aplicações práticas (Simielli e Santos, 2010). O ABS apresenta uma estrutura molecular complexa, uma vez que é formado a partir de três monômeros:

acrilonitrila, butadieno e o estireno (Kamelian et al., 2018). A Figura 1 ilustra a representação da estrutura molecular do terpolímero ABS.

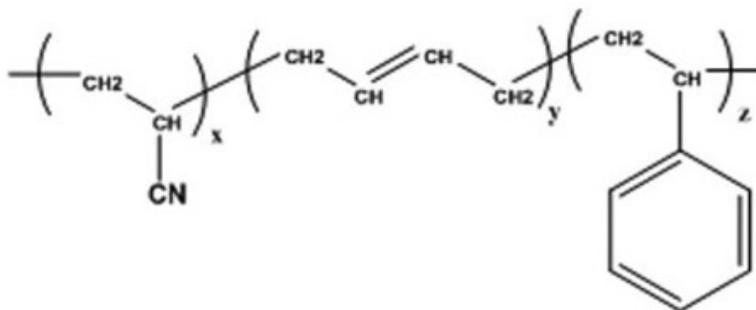


Figura 1 - Estrutura molecular do terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS).

Fonte: Kuram, Ozcelik, & Yilmaz (2016).

O ABS apresenta uma matriz termoplástica formada por acrilonitrila e estireno (SAN), de Tg relativamente alta (110-120°C), e uma fase borrachosa de polibutadieno (PB) dispersa nesta matriz vítrea, com Tg em aproximadamente -70°C e, ao mesmo tempo, uma terceira fase constituída de partículas de polibutadieno grafitizadas na matriz de SAN (Ferreira et al., 1997; Araújo, 2001; Hirayama e Saron, 2018). O ABS, por apresentar três meros diferentes na cadeia principal, tende a ter dificuldade de empacotamento e, portanto, é amorfo (Júnior, 2002). A proporção de cada um desses monômeros é responsável pelas características gerais do ABS, implicando em uma versatilidade considerável na adaptação das propriedades, visando atender aos requisitos específicos de um produto (Kulich et al., 2003; Adam et al., 2017).

A acrilonitrila por apresentar elevada energia de coesão e parâmetro de solubilidade na magnitude de 28,7 (MJ/m³)^{1/2} conferem maior resistência térmica e química ao ABS, porém em detrimento da processabilidade (Simielli e Santos, 2010). Para contornar esse problema, o estireno é utilizado para fornecer rigidez e melhorar a processabilidade (Arostegui et al., 2006). O butadieno que, por ser uma borracha, exerce uma grande influência na resistência ao impacto e na tenacidade do ABS (Zhang et al., 2007). As indústrias sintetizam o ABS com proporções variadas, geralmente nas faixas de 15 a 35% para acrilonitrila, 40 a 60% para estireno e 5 a 30% para borracha de butadieno (Jin et al., 2010). Portanto, as propriedades do ABS podem ser ajustadas para as mais variadas aplicações de alto desempenho da engenharia, por meio de uma tecnologia de processamento viável e de produção em grande escala.

Simielli e Santos (2010) indicam que os dois processos mais importantes para a produção do ABS são o químico (copolimerização por enxertia) e o processo mecânico.

No processo por copolimerização por enxertia, a acrilonitrila e o estireno são misturados com o látex de polibutadieno a aproximadamente 50°C, para que ocorra a absorção dos monômeros. Um iniciador solúvel em água é adicionado ao sistema para polimerizar o estireno e a acrilonitrila. O material resultante desta operação é uma mistura de polibutadieno, polibutadieno com enxerto de estireno e acrilonitrila, bem como o copolímero de acrilonitrila-estireno. Por outro lado, o processo mecânico consiste na mistura por fusão dos componentes em um misturador interno, tipo banbury ou em uma extrusora dupla-rosca.

O ABS é considerado um termoplástico de engenharia que apresenta uma vasta escala de propriedades úteis, como alta resistência ao impacto, boa rigidez, resistência química, baixa densidade, estabilidade dimensional, alto brilho, estabilidade termomecânica e facilidade de processamento (Oliveira, 2009; Smith e Hashemi, 2012; Alghadi et al., 2020). Por isso, o ABS ganhou destaque em produtos na indústria automotiva, em equipamentos elétricos, computadores, aparelhos de telefone, etc (Ulker et al., 2018). Além disso, o ABS é o polímero mais empregado na fabricação de peças cromadas com função decorativa, principalmente devido à sua composição e estrutura química (Kurek et al., 2015). Na Tabela 1 são apresentadas as propriedades mecânicas e termomecânicas dos principais tipos comerciais do ABS de alto impacto. É crucial observar que as propriedades do ABS estão dentro de uma faixa, devido à possibilidade de alterações nas proporções dos três monômeros, conforme mencionado anteriormente.

Propriedades (23°C)	Faixa de valores
Resistência ao Impacto	380 – 450 J/m
Resistência à Flexão	52 – 71 MPa
Módulo de Flexão	1,5 – 2,3 GPa
Módulo sob Tração	1,5 -2,3 GPa
Resistência à Tração	40 – 45 MPa
Dureza Rockwell	88 – 112 R
Temperatura de Deflexão Térmica (1,82 MPa)	73 – 78°C
Temperatura de Amolecimento Vicat	90 – 105°C
Densidade	1,02 – 1,04 g/cm ³

Tabela 1. Faixa de propriedades mecânicas e termomecânicas do ABS de alto impacto comercial.

Fonte: Fink (2010) e Simielli e Santos (2010).

A boa processabilidade do ABS com características reológicas de um termoplástico permite sua moldagem e processamento, em uma variedade de métodos, como:

compressão, injeção, extrusão, calandragem e sopro (Fink, 2010). A alta resistência ao impacto, à boa resistência termomecânica e a processabilidade do ABS, sugerem a sua incorporação como modificador de impacto da poliamida 6 (PA6), visando o desenvolvimento de blendas poliméricas (Carrot et al., 1991; Castro et al., 2016). Todavia, há necessidades da funcionalização do ABS para reagir com os grupos funcionais da PA6, gerando, com isso, materiais de alto desempenho (Araújo et al., 2003a; Araújo et al., 2003b; Fu et al., 2013).

3.2 Funcionalização de Polímeros

Atualmente, um interesse considerável está sendo focado em polímeros sintéticos contendo grupos funcionais reativos (Haik et al., 2019; Morais et al., 2019; Riechert et al., 2019). A funcionalização de polímeros consiste na modificação química, visando adicionar na estrutura novos grupos químicos reativos (Baptista e Canevarolo, 2019; Siqueira et al., 2018). Geralmente, um polímero contendo grupos químicos reativos é preparado para que atue como uma substância reativa, ou seja, promova interações ou reações químicas, com outro polímero que contenha grupos funcionais (Agrawal et al., 2008; Luna et al., 2019b). O processo de modificação química ou enxertia dos polímeros é amplamente realizado com o anidrido maleico, o ácido acrílico e o ácido metacrílico (Rzayev, 2011). Todavia, o anidrido maleico (MA) é o monômero mais utilizado na funcionalização de polímeros (Diop e Torkelson, 2013; López et al., 2018; Montanheiro et al., 2016).

O anidrido maleico (MA) foi produzido comercialmente pela primeira vez no início da década de 1930 (Felthouse et al., 2001). O MA é um sólido branco, com um forte odor ácido, higroscópico e que apresenta uma estrutura cristalina em forma de agulhas ortorrômbicas (Cordella, 2000). Inicialmente, o MA era sintetizado pela desidratação do ácido maleico, porém o processo de obtenção foi modificado para oxidação catalítica, em fase vapor de hidrocarbonetos, assim como sua geração pode se dar em pequenas quantidades por meio do anidrido ftálico (Chitanu et al., 1997). As suas ligações conjugadas C=C e C=O podem participar de reações químicas juntas ou separadas (Mark et al., 1985). A estrutura do anidrido maleico está apresentada na Figura 2.

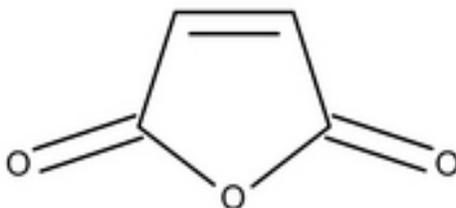


Figura 2 - Estrutura molecular do anidrido maleico (MA).

Fonte: Sigma-Aldrich Corporation (2020)

O anidrido maleico (MA) é altamente reativo com uma grande variedade de cadeias poliméricas. Quando o MA é enxertado em um polímero, pode aumentar a sua polaridade, o que leva a uma melhor interação com polímeros reativos (Siqueira et al., 2017; Zhao et al., 2018). A funcionalização de polímeros com anidrido maleico é amplamente utilizada para o desenvolvimento de compatibilizantes reativos, tendo como objetivo compatibilizar misturas de polímeros (Li e Lee, 1998; Agrawal et al., 2010). Além disso, os compatibilizantes reativos podem solucionar limitações de propriedades mecânicas de polímeros de engenharia individualmente, ou seja, por meio de uma mistura direta com um polímero de engenharia (Barra et al., 2003). Nesse caso, os grupos funcionais podem reagir quimicamente com a matriz polimérica, formando um copolímero in-situ na interface (Agrawal et al., 2009).

Existem vários trabalhos na literatura sobre a funcionalização dos polímeros commodities, indicando as condições ideais para obtenção de um bom grau de enxertia de grupo funcional (Shi et al., 2001; Zhang e Li, 2003; Sayed, 2008). Dentre os polímeros de engenharia, o ABS apresenta relevância, uma vez que é bastante utilizado como modificador de impacto da poliamida 6 (PA6) e, portanto, a funcionalização é requerida do ABS, visando um maior sinergismo de propriedades.

3.3 Funcionalização do ABS com Anidrido Maleico (MA)

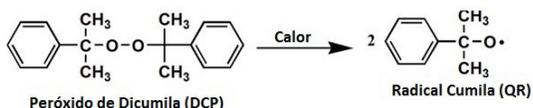
Devido à estrutura especial, o ABS é amplamente modificado com enxertos de anidrido maleico e, nesse caso, amplia suas aplicações (Cong et al., 2011; Zhenjia et al., 2012). A funcionalização do ABS é de grande interesse industrial, visto que pode ser utilizado para o processo de compatibilização reativa de misturas poliméricas (Peipeng et al., 2008; Shao et al., 2015). A eficácia da funcionalização do ABS vai depender das condições de processamento, assim como da concentração do grupo funcional e do iniciador de radicais livres (Zhijun et al., 2012).

O processo de funcionalização do ABS com anidrido maleico pode ser realizado em solução ou no estado fundido, utilizando-se extrusora ou misturador interno (Rabello, 2000). Contudo, uma modificação química do ABS é mais viável do ponto de vista industrial por meio do estado fundido, visto que é um processo rápido, contínuo e eficiente (Fink, 2010). A funcionalização do ABS com anidrido maleico consiste, de forma simplificada, na mistura do ABS no estado fundido com o monômero (MA) na presença de um iniciador de radicais livres, sob temperatura controlada (Biswal et al., 2013). A reação de enxertia inicia-se com a decomposição do iniciador, frequentemente um peróxido orgânico, que origina radicais livres, os quais irão abstrair átomos de hidrogênio da cadeia polimérica, gerando macroradicaís, os quais poderão reagir com os monômeros dos grupos funcionais, dando origem ao polímero funcionalizado ou enxertado (Rzayev, 2011; Ma et al., 2014).

Na obtenção do terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno enxertado com anidrido maleico (ABS-MA), geralmente, o mecanismo de reação pode ocorrer com a adição do grupo funcional na região do butadieno (Rao et al., 1999). Porém, o ataque dos radicais

MA pode ocorrer no hidrogênio da posição alílica do butadieno ou no hidrogênio do carbono insaturado (Olongal et al., 2018). Além disso, como o butadieno na cadeia do ABS apresenta as ligações duplas, há possibilidade do fenômeno da reticulação (Liu et al., 2015). O mecanismo de enxertia de anidrido maleico no ABS está apresentado na Figura 3.

1ª Etapa - Geração do radical cumila



2ª Etapa - Enxertia do MA no ABS

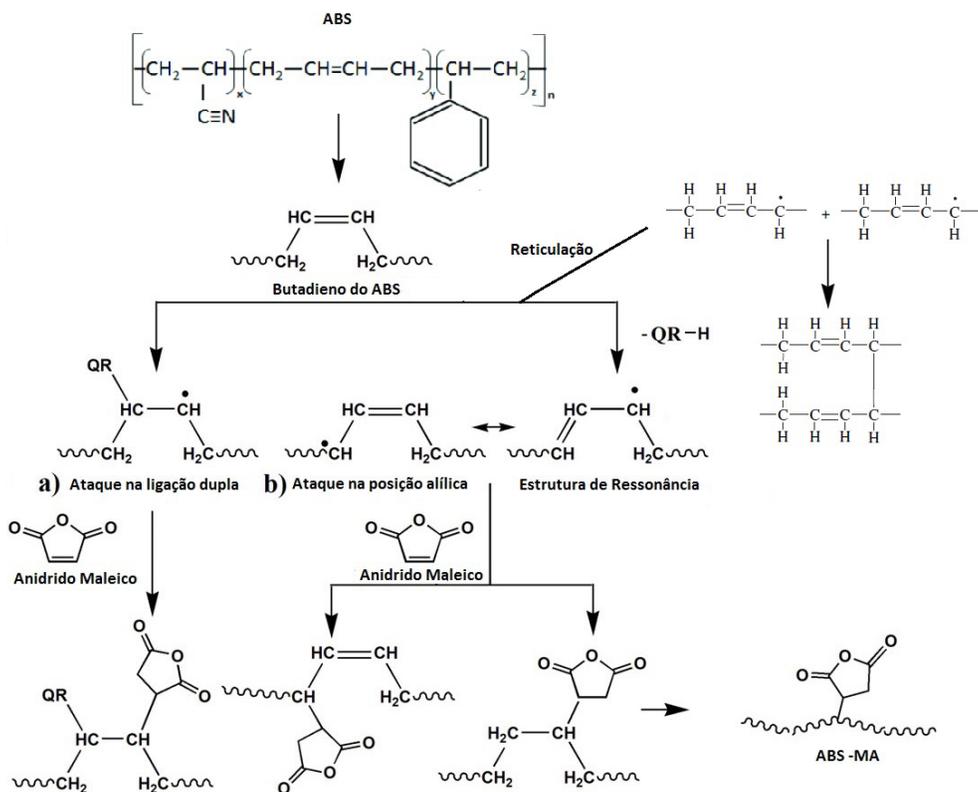


Figura 3 - Mecanismo de enxertia do anidrido maleico (MA) no ABS.

Fonte: Manaf et al. (2017). Reproduzido com autorização de Athiyanathil Sujith.

Existem investigações sobre a funcionalização do terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) com anidrido maleico, visando a avaliação da eficácia da enxertia do grupo reativo. Porém, na literatura, os estudos da modificação química do ABS são conduzidos

de forma aleatória, ou seja, não há critérios sobre as condições de processamento e as proporções dos reagentes utilizados na funcionalização. Portanto, o quadro abaixo mostra a síntese dos principais resultados reportados na literatura.

Autores	Processamento	Metodologia	Principais Resultados
Manaf <i>et al.</i> (2017)	Misturador interno sob temperatura de 150 °C e velocidade de rotação de 45 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa a vácuo sob 80°C por 24 h; • Teor de ABS fixo em 20 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 0,2 g; • Teor de anidrido maleico de 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 e 2 g. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau máximo de enxertia de 1,58% para a composição ABS/MA/DCP (20/1,2/0,2 g); • Redução da estabilidade térmica do ABS funcionalizado; • DRX - aumentou a intensidade da banda do ABS com a modificação química.
Biswal <i>et al.</i> (2013)	Misturador Brabender sob temperatura de 220 °C e velocidade de rotação de 75 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 80°C por 5 h; • Teor de ABS fixo em 100 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 0,1 phr; • Teor de anidrido maleico de 3; 5 e 7 phr. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau máximo de enxertia de 2,96% para a composição ABS/MA/DCP (100g/ 7 phr/0,1 phr); • O mecanismo de enxerto ocorreu na região do butadieno.
Elmaghor <i>et al.</i> (2004)	Misturador Brabender sob temperatura de 220 °C e velocidade de rotação de 75 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de ABS fixo em 100 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 0,1 phr; • Teor de anidrido maleico de 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 e 5,5 phr. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau máximo de enxertia de 3,15 % para a composição ABS/MA/DCP (100g/5,5 phr/0,1 phr) para 5 min de mistura; • O tempo de mistura tem influência no grau de enxertia. À medida que aumentou o tempo de mistura, houve um acréscimo no grau de enxertia.
Olongal <i>et al.</i> (2018)	Misturador interno sob temperatura de 150 °C e velocidade de rotação de 45 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de ABS fixo em 20 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 0,2 g; • Teor de anidrido maleico fixo de 1 g. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau de enxertia de 4,6% para uma composição ABS/MA/DCP (20/1/0,2 g); • DRX - aumentou a intensidade da banda do ABS com o enxerto de anidrido maleico.
Ma <i>et al.</i> (2006)	Extrusora dupla rosca sob temperatura de 160 °C e velocidade de rotação de 40 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 80°C por 12 h; • Teor de ABS fixo em 50 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 3 g; • Teor de anidrido maleico de 0,5; 1,5; 2,5 e 5 g; • Adição de monômero de estireno (st) no teor de 0,5; 1,6; 2,7 e 5,3 g. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau de enxerto relativo máximo de 7,33 para uma composição ABS/MA/DCP/st (50/5/3/5,3 g).

<p>Qi <i>et al.</i> (2005)</p>	<p>O processo realizado por solução em um recipiente selado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 80°C; • Teor de ABS fixo em 5 g; • Teor de Peróxido de benzoíla (PB) de 0,1 e 0,2 g; • Teor de anidrido maleico de 0,4; 0,6 e 1,0; 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • RMN – aparecimento de um novo pico a 3.736 ppm, atribuído ao próton de hidrogênio do anel anidrido; • O grau de enxerto aumentou com o acréscimo do teor do iniciador e do tempo de reação, alcançando o máximo e depois oscilando; • O grau de enxerto foi inicialmente aumentado com o aumento do conteúdo de MA, da concentração de ABS e da razão molar de estireno/ MA, atingindo o máximo e depois diminuindo com um aumento adicional do conteúdo de MA; • O grau de enxerto aumentou com o acréscimo da temperatura de reação.
<p>Qi <i>et al.</i> (2003)</p>	<p>Extrusora dupla rosca sob temperatura de 185, 190, 190, e 190°C, com velocidade de rotação de 20 rpm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 80°C; • Teor de ABS fixo em 100 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) na faixa de 0,1 até 1 % em massa; • Teor de Peróxido de benzoíla (PB) na faixa de 0,1 até 1 % em massa; • Teor de anidrido maleico de 2,0; 3,0 e 3,5 g; • Adição de monômero de estireno (st) no teor de 0,75; 1,0 e 1,1 g. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • O enxerto ocorreu na região do butadieno presente no ABS; • O DCP é mais eficaz do que o PB para a reação de enxertia de MA no ABS; • O grau de enxerto aumentou com o aumento na concentração de anidrido maleico; • O uso de estireno como e DCP/ PB como iniciadores foi benéfico para a o processo de enxertia; • Um tempo de reação mais longo e uma força de cisalhamento mais forte foram benéficos para a reação de enxertia; • O grau de enxertia sofreu acréscimo com o aumento da temperatura.
<p>Rao <i>et al.</i> (1999)</p>	<p>O processo realizado por solução em um recipiente, com temperatura de 90°C e durante 3 h.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 60°C; • Teor de ABS fixo em 0,6 g; • Teor de Peróxido de benzoíla (PB) fixo em 0,06 g; • Teor de anidrido maleico fixo em 0,6 g; 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1790 cm⁻¹; • A temperatura inicial de decomposição do ABS enxertado com anidrido maleico aumentou, em comparação ao ABS puro; • Os valores da transição vítrea (Tg) foram aumentados com o aumento do rendimento do enxerto de MA; • O enxerto ocorreu na região da dupla ligação do butadieno.

Atualmente, há trabalhos sendo desenvolvidos com enxertos multifásicos, utilizando anidrido maleico (MA) e o estireno (St) pelo processo de fusão (Sui e Xie, 2019). O desenvolvimento do ABS com enxerto multifásico pode ampliar a eficiência do grupo funcional, uma vez que o monômero de estireno (st) pode aumentar significativamente

o grau de enxerto (Li et al., 2001). Em geral, a funcionalização do ABS é uma ferramenta essencial para aumentar a interação com outros polímeros de engenharia com grupos funcionais na cadeia e, como consequência, o ABS funcionalizado pode ser tornar um eficiente modificador de impacto.

3.4 Aplicação como Modificador de Impacto da Poliamida (6)

Muitos polímeros de engenharia apresentam uma limitação quando utilizados em baixas temperaturas, uma vez que ocorre uma significativa redução na resistência ao impacto (Majumdar et al., 1994). A opção mais utilizada para melhorar a resistência ao impacto em temperaturas subambientais é por meio da adição de modificadores de impacto, visando a tenacificação (Luna et al., 2019; Rabello e Paoli, 2013). Em geral, a dispersão de copolímeros/terpolímeros com características elastoméricas na matriz polimérica é uma das técnicas mais utilizadas por grande parte das indústrias de polímeros para aumentar a resistência ao impacto (Correa, 1993). Nesse contexto, o uso do ABS como modificador de impacto para polímeros de engenharia, como a poliamida 6 (PA6) é bastante explorado (Chang et al., 1994; Fernandes et al., 2018).

A poliamida 6 (PA6) pertence a uma classe atraente de termoplásticos de engenharia devido à sua boa resistência ao desgaste, as boas propriedades mecânicas de tração e a alta resistência ao impacto quando não entalhada (Oliveira et al., 2017). No entanto, a PA6 apresenta o inconveniente de falhar com um comportamento frágil quando contém um concentrador de tensão (Luna et al., 2014). O ABS tem sido utilizado para tenacificar a PA6, devido principalmente às suas propriedades intrínsecas de termoplástico e alta tenacidade (Correa et al., 2007).

A mistura direta de PA6/ABS é imiscível e incompatível, gerando baixas propriedades mecânicas (Araújo et al., 2003c; Arsad et al., 2011). De fato, misturas de PA6/ABS (60/40% em massa) foram processadas em uma extrusora e injetadas, por Oliveira et al. (2011). A presença de 40% de ABS na mistura não alterou muito a rigidez da PA6, uma vez que o resultado obtido para o módulo desta foi bem próximo ao encontrado para a matriz PA6 pura. Todavia, a mistura pode ser considerada frágil e incompatível, visto que reduziu a resistência ao impacto em 10%, em comparação com a PA6. Como consequência, o ABS isoladamente não tenacifica a PA6. Para contornar esse problema, geralmente, a PA6 pode ser tenacificada com o terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno modificado com anidrido maleico (ABS-MA), tendo em vista uma sinergia de propriedades (Rzayev, 2011). As misturas de PA6/ABS-MA envolvem reações químicas, com os grupos anidrido maleico do ABS-MA e os grupos terminais amina da PA6 durante a mistura do fundido, formando o grupo imida (Carvalho e Sirqueira, 2016; Luna et al., 2020). A Figura 4 apresenta um modelo hipotético para a reação do sistema PA6/ABS-MA.



Figura 4 - Reação hipotética para o sistema PA6/ABS-MA.

Fonte: Adaptado de Carvalho e Sirqueira (2016).

As misturas de poliamida PA6/ABS-MA atraíram considerável atenção acadêmica e da indústria, devido às suas importantes aplicações no campo automotivo e eletrônico (Tomic e Marinkovic, 2020).

Xu et al. (2008) avaliaram a tenacificação da PA6 com o terpolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno funcionalizado com anidrido maleico (ABS-g-MA), obtido por meio do processo de polimerização em emulsão. As blendas PA6/ABS-MA (85/15; 80/20; 75/25 e 70/30% em massa) foram preparadas, inicialmente, em uma extrusora e, posteriormente, os grânulos extrudados foram moldados por injeção. Um aumento na viscosidade foi observado por reometria de toque, indicando reações químicas entre a PA6 e o ABS-g-MA. A presença de 1% de anidrido maleico no ABS-MA é suficiente para supertenacificar às blendas PA6/ABS-MA (25 e 30%), com absorção de energia superior a 800 J/m e, ao mesmo tempo, diminuindo a temperatura de transição dúctil-frágil de 50 para 10°C. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) mostrou que o ABS-MA estava bem disperso na matriz de PA6, contribuindo para o alto desempenho da resistência ao impacto. As propriedades de módulo elástico e tensão de escoamento praticamente não modificaram de forma significativa, somente uma manutenção dos valores.

Fu et al. (2013) prepararam misturas de PA6/ABS funcionalizado com anidrido maleico, visando a tenacificação. Observou-se que ocorreu uma reação na interface, contribuindo para diminuir a tensão interfacial e impedir a aglomeração do ABS-g-MA. Como consequência, a reação da interface foi benéfica para aprimorar e aumentar a tenacidade e a rigidez. Contudo, a utilização do terc-dodecil mercaptana (TDM) como modificador de enxerto mostra influência significativa nas propriedades mecânicas. Quando o teor de TDM é menor, pode-se constatar que a transição frágil-dúctil ocorre entre 20 e 25% do conteúdo de ABS-MA. Para as misturas PA6/ABS-g-MA com maior teor de TDM, a transição frágil-dúctil ocorreu entre 30-40% do conteúdo de ABS-g-MA. Portanto, a eficiência da tenacificação diminui para as partículas de ABS-g-MA com maior teor de TDM. Em geral, quando o conteúdo de TDM foi de 0,28%, a mistura PA6/ABS-g-MA apresentou a maior tenacidade superior e rigidez.

O terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno funcionalizado com anidrido maleico (ABS-g-MA) foi usado como modificador de impacto da poliamida 6 (PA6), em um trabalho

de Shulin et al. (2011). A PA6 pura é sensível ao entalhe e apresentou resistência ao impacto Izod de 30 J/m. A resistência ao impacto da PA6 foi melhorada significativamente com a adição do ABS-g-MA. A transição frágil-dúctil ocorreu quando o teor de ABS-g-MA estava entre 25 e 30% em peso, gerando uma resistência ao impacto na ordem de 960 J/m, com a incorporação de 30% em peso de ABS-g-MA.

Monômeros reativos como ácido acrílico (AA), anidrido maleico (MA) e glicidil metacrilato (GMA) foram enxertados em acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) pelo método de polimerização por emulsão. Esses ABS funcionalizados foram utilizados para tenacificar a PA6, visando analisar a eficácia de cada grupo reativo. Os resultados de resistência ao impacto foram mais expressivos quando o ABS foi modificado com GMA e MA, devido às reações interfaciais mais fortes. As misturas PA6/ABS-g-GMA e PA6/ABS-g-MA apresentaram valores de resistência ao impacto de 900 J/m e 950 J/m, respectivamente, indicando que são supertenazes. Por outro lado, a mistura PA6/ABS-g-AA apresentou resistência ao impacto na ordem de 230 J/m. A introdução de grupos reativos no ABS induz reações de compatibilização e maior resistência interfacial, levando a maior resistência à tração e alongamento na ruptura.

As propriedades térmicas, mecânicas e de difusão de blendas PA6/ABS, com e sem compatibilizante ABS-MA, foram testadas por Jang e Kim (2000). As blendas de PA6/ABS-MA aumentaram as propriedades de resistência à tração e flexão, impacto e dureza, em comparação com as blendas PA6/ABS. Por outro lado, a temperatura de fusão e a estabilidade térmica não foram significativamente afetadas. O aprimoramento das propriedades mecânicas nas blendas PA6/ABS-MA foi explicado pela formação de uma estrutura refinada, em decorrência das interações entre o anidrido maleico e os grupos terminais aminas da PA6. As misturas PA6/ABS e PA6/ABS-MA apresentam uma redução na absorção de água, em comparação com a PA6.

Recentemente, os compatibilizantes SEBS-g-(MA-co-St) e ABS-g-(MA-co-St) foram desenvolvidos por Sui e Xie (2019), tendo em vista avaliar o potencial na compatibilização da blenda PA6/ABS. A blenda PA6/ABS/SEBS-g-(MA-co-St) (70/15/15%) apresentou um aumento acentuado na resistência ao impacto e no alongamento na ruptura, com ganhos de 780 e 3866%, respectivamente, em comparação com a blenda PA6/ABS. A tensão de escoamento, o módulo elástico e a resistência à tração mantêm valores elevados. Por outro lado, o compatibilizante ABS-g-(MA-co-St) não foi eficiente para compatibilizar a blenda PA6/ABS, uma vez que as propriedades foram equiparáveis à blenda PA6/ABS. A maior eficácia do SEBS-g-(MA-co-St) foi devido à facilidade da fase borracha para encapsular os domínios do ABS, o que foi confirmado pela microscopia eletrônica de varredura. Contudo, uma supertenacificação foi obtida ao desenvolver a blenda PA6/ABS-g - (MA-co-St)/SEBS-g-(MA-co-St) (70/15/15%), chegando a um ganho de mais de 1300% na resistência ao impacto e, de modo simultâneo, altos valores no alongamento na ruptura e na resistência à tração foram alcançados. Para essa blenda, não houve redução no módulo elástico,

somente um leve acréscimo. As blendas desenvolvidas apresentam potencial promissor para a área automotiva.

As misturas PA6/ABS-MA são de grande interesse tecnológico e comercial, devido aos méritos combinados de cada constituinte na mistura. A investigação de uma faixa de composição de ABS-MA na PA6 é necessária, visto que dependendo do teor de ABS-MA adicionado pode-se obter uma supertenacificação e, ao mesmo tempo, altas propriedades de tração. Contudo, há necessidade de avaliar o teor de anidrido maleico (MA) enxertado, uma vez que existe a concentração ideal para otimizar as propriedades (Bassani et al., 2002). O excesso de anidrido maleico pode saturar o sistema e, como consequência, prejudicar as propriedades mecânicas.

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram apresentadas as principais características do ABS, o processo de funcionalização com anidrido maleico (MA) e a aplicação como modificador de impacto da poliamida 6. O processo de enxertia de anidrido maleico no ABS está consolidado na literatura técnica de polímeros, porém a eficiência do grau de enxertia será dependente das condições de processamento. O mecanismo de enxerto de MA no ABS ocorre na região do butadieno presente na cadeia, com possibilidade de haver o fenômeno da reticulação. A comprovação do enxerto pode ser realizada por meio das análises de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e ressonância magnética nuclear (RMN). Em geral, a eficácia do teor enxertado de anidrido maleico dependerá das condições de processamento utilizadas, como temperatura e velocidade dos rotores. Ao mesmo tempo, o tipo de processamento, o teor de anidrido maleico e o teor de peróxido afetam também o grau de enxertia. A presente revisão da literatura apresenta os principais artigos relacionados sobre a modificação química do ABS, indicando os principais resultados alcançados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Ao mesmo tempo, os autores agradecem à UFCG, ao MCTIC/CNPq e à CAPES/PNPD pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

Adam, A. P., Gonçalves, J. V. R. V., Robison, L. C., Rosa, L. C., & Sscheider, E. L. (2017). Recycling and mechanical characterization of polymer blends present in printers. *Materials Research*, 20(2), 202-208.

Agrawal, P., Araújo, E. M., & Mélo, T. J. A. (2008). Reometria de torque, propriedades mecânicas e morfologia de blendas compatibilizadas de PA6/PEAD. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 18(2), 152-157.

- Agrawal, P., Rodrigues, A. W. B., Araújo, E. M., & Mélo, T. J. A. (2010). Influence of reactive compatibilizers on the rheometrical and mechanical properties of PA6/LDPE and PA6/HDPE blends. *Journal of Materials Science*, 45(1), 496–502.
- Agrawal, P., Rodrigues, A. W. B., Araújo, E. M., & Mélo, T. J. A. (2009). Blendas de PA6/PE: avaliação da reatividade de diferentes compatibilizantes com a PA6 por reometria de torque. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 4(3), 1-10.
- Alghadi, A. M., Tirkes, S., & Tayfun, U. (2020). Mechanical, thermo-mechanical and morphological characterization of ABS based composites loaded with perlite mineral. *Materials Research Express*, 7(1), 1-19.
- Araújo, E. M. (2001). Tenacificação da poliamida 6 com ABS por meio da técnica de compatibilização in situ com o uso de copolímeros acrílicos reativos. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.
- Araújo, E. M., Júnior, E. H., & Carvalho, A. J. F. (2003a). Compatibilização de blendas de poliamida 6/ABS usando os copolímeros acrílicos reativos MMA-GMA e MMA-MA. Parte 1: comportamento reológico e propriedades mecânicas das blendas. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 13(3), 205-211.
- Araújo, E. M., Júnior, E. H., & Carvalho, A. J. F. (2003b). Morphological, mechanical and rheological properties of nylon 6/acrylonitrile-butadienestyrene blends compatibilized with MMA/MA copolymers. *Journal of Materials Science*, 38(17), 3515 – 3520.
- Araújo, E. M., Júnior, E. H., & Carvalho, A. J. F. (2003c). Effect of compatibilizer in acrylonitrile-butadiene-styrene toughened nylon 6 blends: Ductile–brittle transition temperature. *Journal of Applied Polymer Science*, 90(10), 2643-2647.
- Arsad, A., Rahmat, A. R., Hassan, A., Iskandar, S. N. (2011). Mechanical and rheological characterization of PA6 and ABS blends with and without short glass fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 11(13), 2313-2319.
- Arostegui, A., Sarrionandia, M., Aurrekoetxea, J., Urrutibeascoa, I. (2006). Effect of dissolution-based recycling on the degradation and the mechanical properties of acrylonitrile–butadiene–styrene copolymer. *Polymer Degradation and Stability*, 91(11), 2768-2774.
- Bassani, A., Pessan, L. A., & Júnior, E. H. (2002). Propriedades mecânicas de blendas de nylon-6/acrilonitrila-EPDM-estireno (AES) compatibilizadas com copolímero acrílico reativo (MMA-MA). *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 12(2), 102-108.
- Barra, G. M. O., Roeder, J., Soldi, V., Pires, A. T. N., & Agnelli, J. A. M. (2003). Blendas de poliamida 6/elastômero: propriedades e influência da adição de agente compatibilizante. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 13(2), 94-101.
- Baptista, C. A., & Canevarolo, S. V. (2017). Grafting polypropylene over hollow glass microspheres by reactive extrusion. *Polímeros*, 29(3), 1-9.
- Baptista, C. A., & Canevarolo, S. V. (2019). Grafting polypropylene over hollow glass microspheres by reactive extrusion. *Polímeros*, 29(3), e2019037.

- Biswal, M., Mohanty, S., Nayak, S. K., & Babu, S. A. (2013). Effect of reactive compatibilizers and impact modifier on the performance characteristics of polycarbonate/poly (acrylonitrile-butadiene-styrene) blends obtained from e-waste. *International Journal of Plastics Technology*, 17(2), 209–225.
- Braga, N. F., Passador, F. R., Saito, E., & Cristovan, F. H. (2019). Effect of graphite content on The mechanical properties of acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS). *Macromolecular Symposia*, 383(1), 1800018.
- Carvalho, A. P. A., & Sirqueira, A. S. (2016). Effect of compatibilization in situ on PA/SEBS blends. *Polímeros*, 26(2), 123-128.
- Castro, L. D. C., Oliveira, A. D., Kersch, M., Altstadt, V., & Pessan, L. A. (2016). Effects of mixing protocol on morphology and properties of PA6/ABS blends compatibilized with MMA-MA. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(27), 1-8.
- Carrot, C., Guillet, J., & May, J. F. (1991). Blends of polyamide 6 with ABS: effect of a compatibilizer on adhesion and interfacial tension. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, 16(1), 61-66.
- Chang, H. H., Wu, J. S., Chang, F. C. (1994). Reactive compatibilization of ABS/nylon 6,6 blends: effects of reactive group concentration and blending sequence. *Journal of Polymer Research*, 1(3), 235-245.
- Chitanu, G. C., Zaharia, L. I., & Carpov, A. (1997). Review: analysis and characterization of maleic copolymers. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 4(1), 1-20.
- Cordella, C. D. (2000). Funcionalização do copolímero em bloco estireno-butadieno-estireno (SBS) e sua utilização em misturas com nylon 6. *Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, SP, Brasil.*
- Correa, C. A. (1995). Caracterização de polímeros multifásicos. Parte 1: processamento e morfologia. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 5(1), 24-33.
- Correa, C. A., Yamakawa, R. S., Razzino, C. A., Júnior, E. H. (2007). Tenacidade à fratura de blendas PA 6/ABS avaliada através do método EWF (Trabalho Essencial de Fratura) – Parte A: avaliação do efeito do compatibilizante. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 17(1), 36-45.
- Cong, P., Chen, S., & Chen, H. (2011). Preparation and properties of bitumen modified with the maleic anhydride grafted styrene-butadiene-styrene triblock copolymer. *Polymer Engineering and Science*, 51(7), 1273-1279.
- Debbah, I., Krache, R., Aranburu, N., Fernandez, M., & Etxeberria, A. (2018). Effect of SEBS-g-MAH addition on the mechanical, rheological, and morphological properties of polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene blends. *Journal of Elastomers & Plastics*, 50(7), 611-633.
- Diop, M. F., & Torkelson, J. M. (2013). Maleic anhydride functionalization of polypropylene with suppressed molecular weight reduction via solid-state shear pulverization. *Polymer*, 54(16), 4143-4154.
- Elmaghor, F., Zhang, L., Fan, R., & Li, H. (2004). Recycling of polycarbonate by blending with maleic anhydride grafted ABS. *Polymer*, 45(19), 6719-6724.

Ferreira, L. A. S., Pessan, L. A., & Júnior, E. H. (1997). Comportamento mecânico eterno-mecânico de blendas poliméricas PBT/ABS. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 7(1), 67-72.

Fernades, J. P. C., Castro, L. D. C., Mareau, V. H., Pessan, L. A.; Gonon, L. (2018). New insights on the compatibilization of PA6/ABS blends: A co-localized AFM-Raman study. *Polymer*, 146(6), 151–160.

Fink, J. K. (2010). *Handbook of engineering and speciality thermoplastics: polyolefins and styrenics* (1a ed.). Nova Jersey: Wiley.

Fu, Y., Song, H., Zhou, C., Zhang, H., & Sun, S. (2013). Modification of the grafting character to prepare PA6/ABS-g-MA blends with higher toughness and stiffness. *Polymer Bulletin*, 70(12), 1853–1862.

Felthouse, T. R., Burnett, J. C., Horrell, B., Mummey, M. J., & Kuo, Y.J. (2001). Maleic Anhydride, Maleic Acid, and Fumaric Acid. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Doi:10.1002/0471238961.1301120506051220.a01.pub2

Gezaz, S. M., & Khoshhal, A. (2017). Phase Morphology and dynamic mechanical properties of nylon 6 based blends prepared via successive in situ ring opening polymerization. *Journal Journal of Macromolecular Science, Part B Physics*, 56(4), 262-278.

Haik, M. Y. A., Siddique, W., Kabir, M. M., Aldajah, S., & Haik, W. (2019). Mechanical and thermal characterization of functionalized maleic anhydride grafted polypropylene. *Materials Research Express*, 6(10), 105367.

Hirayama, D.; Saron, C. (2018). Morphologic and mechanical properties of blends from recycled acrylonitrile-butadiene-styrene and high-impact polystyrene. *Polymer*, 135(1), 271-278.

Jang, S. P., & Kim, D. (2000). Thermal, mechanical and diffusional properties of nylon 6/ABS polymer blends: compatibilizer effect. *Polymer Engineering & Science*, 40(7), 1635-1642.

Jin, F.L., Lu, S.L., Song, Z.B., Pang, J.X., Zhang, L., Sun, J.D., & Cai, X. P. (2010). Effect of rubber contents on brittle–tough transition in acrylonitrile-butadiene-styrene blends. *Materials Science and Engineering: A*, 527(15), 3438-3441.

Júnior, S. V. C. (2002). *Ciência dos polímeros – um texto básico para tecnólogos e engenheiros* (1a ed.). São Paulo: Artliber Editora.

Kamelian, F. S., Saljoughi, E., Nasirabadi, P. S., & Mousavi, S. M. (2018). Modifications and research potentials of acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS) membranes: A review. *Polymer Composites*, 39(8), 2835-2846.

Kulich, D. M., Gaggari, S. K., Lowry, V., & Stepien, R. (2003). Acrylonitrile-butadiene-Styrene (ABS) polymers. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 1(1), 414-438.

Kuram, E., Ozcelik, B., & Yilmaz, F. (2016). The effects of recycling process on thermal, chemical, rheological, and mechanical properties of PC/ABS binary and PA6/PC/ABS ternary blends. *Journal of Elastomers & Plastics*, 48(2), 164-181.

Kurek, A. P., Dotto, M. E. R., Sellim, N., & Araújo, P. H. H. (2015). Tratamento químico superficial e metalização de ABS, PVC e blendas de PVC/ABS. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 25(2), 212-218.

- Li, C. W., & Lee, W. L. (1998). An Investigation on the modification of polypropylene by grafting of maleic anhydride based on the aspect of adhesion. *Journal of Applied Polymer Science*, 70(2), 383-387.
- Li, Y., Xie, X. M., & Guo, B. H. (2001). Study on styrene-assisted melt free-radical grafting of maleic anhydride onto polypropylene. *Polymer*, 42(8), 3419-3425.
- Liu, X., Zhou, T., Liu, Y., Zhang, A., Yuan, C., & Zhang, W. (2015). Cross-linking process of cis-polybutadiene rubber with peroxides studied by two-dimensional infrared correlation spectroscopy: a detailed tracking. *RSC Advances*, 14(5), 10231-10242.
- López, M. E. G.; Ortíz, J. R. R., González, R. M., Guzmán, J. A. S., & Fonseca, A. A. P. (2018). Polylactic acid functionalization with maleic anhydride and its use as coupling agent in natural fiber biocomposites: a review. *Composite Interfaces*, 25(5-7), 515-538.
- Luna, C. B. B., Silva, D. F., & Araújo, E. M. (2014). Estudo do comportamento de blendas de poliamida 6/resíduos de borracha da indústria de calçados. *Revista Univap*, 20(36), 98-110.
- Luna, C. B. B., Siqueira, D. D., Ferreira, E. S. B., Araújo, E. M., & Wellen, R. M. R. (2020). Reactive compatibilization as a proper tool to improve PA6 toughness. *Materials Research Express*, 6(12), 125367.
- Luna, C. B. B., Silva, D. F., Araújo, E. M., Mélo, T. J. A., Bezerra, E. O.T., Siqueira, D. D., & Oliveira, A. D. (2019). Blends of polystyrene/shoes waste (SBRr): influence of mixture sequence and compatibilizer. *Macromolecular Symposia*, 383(1), 1800046.
- Luna, C. B. B., Siqueira, D. D., Ferreira, E. S. B., Araújo, E. M., & Wellen, R. M. R. (2019b). Reactive compatilization of PCL/WP upon addition of PCL-MA. Smart option for recycling industry. *Materials Research Express*, 6(12), 125317.
- Mark, H. F., Bikales, N. M., Overberger, C. G., & Menges, G. (1985). Maleic and fumaric polymers. *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. New York: John-Wiley & Sons.
- Majumdar, B., Keskkula, H., & Paul, D. R. (1994). Effect of the nature of the polyamide on the properties and morphology of compatibilized nylon/acrylonitrile-butadiene-styrene blends. *Polymer*, 35(25), 5468-5477.
- Ma, P., Jiang, L., Ye, T., Dong, W., & Chen, M. (2014). Melt free-radical grafting of maleic anhydride onto biodegradable poly(lactic acid) by using styrene as a comonomer. *Polymers*, 6(1), 1528-1543.
- Ma, H., Xu, Z., Tong, L., Gu, A., & Fang, Z. (2006). Studies of ABS-graft-maleic anhydride/clay nanocomposites: Morphologies, thermal stability and flammability properties. *Polymer Degradation and Stability*, 91(12), 2951-2959.
- Manaf, O., Sheeja, Jowhar, A., & Sujith, A. (2017). Effect of unsaturation on physicochemical properties of maleic anhydride-grafted acrylonitrile butadiene styrene terpolymer. *Journal of Elastomers & Plastics*, 50(6), 520-536.
- Montanheiro, T. L. A., Passador, F. R., Oliveira, M. P., Durán, N., & Lemes, A. P. (2016). Preparation and characterization of maleic anhydride grafted poly(hydroxybutirate-co-hydroxyvalerate) – PHBV-g-MA. *Materials Research*, 19(1), 229-235.

- Morais, D. D. S., Siqueira, D. D., Luna, C. B. B., Araújo, E. M., Bezerra, E. B., & Welen, R. M. R. (2019). Grafting maleic anhydride onto polycaprolactone: influence of processing. *Materials Research Express*, 6(5), 055315.
- Motta, K., Luna, M., Santos, J., & Romero, F. (2016). Uma revisão da literatura sobre transferência de tecnologia. *Holos*, 32(8), 255-272.
- Oliveira, A. D. (2009). Dispersão seletiva de argila montmorilonita em blendas poliméricas de PA6/ABS. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.
- Oliveira, A. D., Castro, L. D. C., Beatrice, C. A. G., Lucas, A. A., & Pessan, L. A. (2017). Effect of maleic anhydride content in properties of PA6/AES blends compatibilized with MMA-MA. *Materials Research*, 20(6), 1-8.
- Oliveira, A. D., Larocca, N. M., Pessan, L. A. (2011). Efeito da sequência de mistura nas propriedades de blendas PA6/ABS compatibilizadas com o copolímero SMA. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 21(1), 27-33.
- Olongal, M., Nainar, M. A. M., Marakkattupurathe, M., Asharaf, S. M. V., & Athiyathil, S. (2018). Effect of poly(ethylene-co-vinyl acetate) additive on mechanical properties of maleic anhydride-grafted acrylonitrile butadiene styrene for coating applications. *Journal of Vinyl and Additive technology*, 25(3), 287-295.
- Olivera, S., Muralidhara, H.B., Venkatesh, K., Gopalakrishna, K., Vivek, C. S. (2016). Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) plastic: a review. *J Mater Sci*, 51(8), 3657–3674.
- Peipeng, W., Qingchun, F., Shenyi, T., & Liangjun, Z. (2008). Application of ABS grafted with maleic anhydride in PA 6/ABS blend. *China Synthetic Resin and Plastics*, 25(2), 35-40.
- Qi, R., Chen, Z., & Zhou, C. (2005). Solvothermal preparation of maleic anhydride grafted onto acrylonitrile–butadiene–styrene terpolymer (ABS). *Polymer*, 46(12), 4098-4104.
- Qi, R., Qian, J., & Zhou, C. (2003). Modification of acrylonitrile–butadiene–styrene terpolymer by grafting with maleic anhydride in the melt. I. preparation and characterization. *Journal of Applied Polymer Science*, 90(5), 1249-1254.
- Rabello, M. S., & Paoli, M. A. (2013). *Aditivação de termoplásticos (2a ed.)*. São Paulo: Artliber Editora.
- Rabello, M. S. (2000). *Aditivação de polímeros (1a ed.)*. São Paulo: Artliber Editora.
- Rao, B. M., Rao, & P. R. Sreenivasulu, B. (1999). Grafting of maleic anhydride onto acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer: synthesis and characterization. *Polymer Plastics Technology and Engineering*, 38(5), 967-977.
- Riechert, V. M., Ferrofino, A. G., Ressia, J. A., Failla, M. D., & Quinzani, L. M. (2019). Modification of propylene- α -olefin copolymers by maleic anhydride grafting and blending. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 24(4), 355-373.
- Rutkowski, J. V. & Levin, B. C. (1986). Acrylonitrile–butadiene–styrene copolymers (ABS): Pyrolysis and combustion products and their toxicity—a review of the literature. *Fam Fire and Materials*, 10(3-4), 93-105.

Rzayev, Z. M. O. (2011). Graft copolymers of maleic anhydride and its isostructural analogues: high performance engineering materials. *International Review of Chemical Engineering*, 3(2), 153-215.

Sayed, W. M. (2008). Preparation of modified polystyrene with maleic anhydride in the presence of different solvents. *Journal of Applied Polymer Science*, 109(6), 4099-4104.

Shao, H., Qin, S., Guo, J., & Wu, B. (2015). Melt grafting copolymerization of glycidyl methacrylate onto acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) terpolymer. *Science and Engineering of Composite Materials*, 22(4), 391-398.

Shi, D., Yang, J., Yao, Z., Wang, Y., Huang, H., Jing, W., Yin, J., & Costa, G. (2001). Functionalization of isotactic polypropylene with maleic anhydride by reactive extrusion: mechanism of melt grafting. *Polymer*, 42(13), 5549-5557.

Shulin, S., Zhuo, C., Lili, S., & Huixuan, Z. (2011). Influence of epoxy resin on the properties of maleic anhydride functionalized acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer toughened polyamide 6 blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(2), 909-915.

Simielli, E. R., & Santos, P. A. (2010). *Plásticos de engenharia – principais tipos e sua moldagem por injeção* (1a ed.). São Paulo: Artliber Editora.

Siqueira, D. D., Luna, C. B. B., Morais, D. D. S., Araújo, E. M., França, D. C., & Wellen, R. M. R. (2018). Efeito das variáveis reacionais na síntese de um polímero biodegradável funcionalizado: PCL-g-MA. *Matéria* (Rio de Janeiro), 23(4), e-12252.

Siqueira, D. D., Morais, D. D. S., Araújo, E. M., Luna, C. B. B., & Wellen, R. M. R. (2017). Otimização da Funcionalização de um Polímero Biodegradável Utilizando Planejamento Fatorial. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 12(3), 192-198.

Smith, W. F., Hashemi, J. (2012). *Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais* (5a ed.). Porto Alegre: AMGH.

Sun, S., Chen, Z., & Zhang, H. (2008). Effect of reactive group types on the properties of core-shell modifiers toughened PA6. *Polymer Bulletin*, 61(7), 443-452.

Sui, X., & Xie, X. M. (2019). Creating super-tough and strong PA6/ABS blends using multi-phase compatibilizers. *Chinese Chemical Letters*, 30(1), 149-152.

Tomic, N. Z., Marinkovic, A. D. (2020). *Compatibilization of polymer blends*. Amsterdã: Elsevier, 2020.

Ulker, A.; Oztoprak, N., Sayer, S., & Yenic, C. (2018). Optimization of welding parameters of hot plate welded PC/ABS blends by using the Taguchi experimental design method. *Journal of Elastomers & Plastics*, 50(2), 162-181.

Xu, X. Y., Sun, S. L., Chen, Z. C., & Zhang, H. X. (2008). Toughening of polyamide 6 with a maleic anhydride functionalized acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer. *Journal of Applied Polymer Science*, 109(4), 2482-2490.

Zhao, Y., Ma, C., Cheng, S., Xu, W.; Du, Y., Bao, Y., & Xiao, Z. (2018). Maleic anhydride-grafted isotactic polybutene-1 and modified polyamide 6. *Polymers*, 10(1), 1-12.

Zhang, N.; Bao, X. X.; Tan, Z. Y.; Sun, S. L.; Zhou, C.; Yang, H. D.; Zhang, H. X. (2007). Morphology and mechanical properties of ABS blends prepared from emulsion-polymerized PB-g-SAN impact modifier with AIBN as initiator. *Journal of Applied Polymer Science*, 105(3), 1237- 1243.

Zhang, Y., & Li, H. (2003). Functionalization of high density polyethylene with maleic anhydride in the melt state through ultrasonic initiation. *Polymer Engineering and Science*, 43(4), 774-782.

Zhenjia, Q., Gang, C., Yu, Z., Yizhou, Z., Haibo, Z., Lin, W., Xiang, H., & Chao, W. (2012). The Addition of ABS-g-MAH on properties of nylon6/ABS alloy. *Key Engineering Materials*, 501(1), 196-201.

Zhijun, C., Yilong, W., & Chen, Z. (2012). Preparation of grafted ABS and compatibilization of r-PET/ABS blends by the grafted ABS. *China Synthetic Resin and Plastics*, 29(5), 30-33.

ÍNDICE REMISSIVO

A

ABS 7, 12, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Agitação 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 20, 69, 203, 204, 207

Ângulo de inclinação 105, 106, 107, 111, 114

Anidrido maleico 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Aspersão térmica 54, 58, 59, 61, 62, 64, 65, 66

B

Banda larga 87, 94, 95

Blenda PS/PCL 68

C

Cicatrização 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Concreto 96, 97, 98, 100, 103, 104, 136, 226, 229, 230, 232, 233, 234, 235, 237, 238, 239

Construção civil 96, 97, 103

D

Desgaste abrasivo 54, 58, 59, 60, 63, 65, 66

E

Ensino 1, 6, 8, 10, 21, 255

F

Feridas 75, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ferrocarbonila 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Filme fino 68

Fotodegradação UV 68

I

Impressão 3D 1, 15

Índice de acidez 17, 18, 19, 20, 21

Índice de peróxido 17, 19, 20, 21

M

Materiais absorvedores de radiação eletromagnética 87, 88, 95

Matlab 105, 106, 107

Mecanismo de reação 33, 35, 39

Medicina regenerativa 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84

Mistura 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 15, 34, 37, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 51, 69, 97, 99, 203, 204

Modificação química 33, 38, 39, 40, 41, 46

N

Nanobiomateriais 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

O

Óleo de soja 17, 19, 21

Operação unitária 2, 23

P

Painéis solares fixos 105

Polipropileno 96, 97, 99, 104

R

Reciclagem 96, 97, 186, 189, 192, 194

Refletividade 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Reutilização 17, 18, 19, 96, 186, 189, 191, 194

Revestimentos cerâmicos 54, 55, 56, 60, 67

S

Sedimentação 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Separação de partículas 22, 23

Sistemas fotovoltaicos 105, 106

Suspensão 4, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 203, 204

T

Teste de proveta 22, 23, 24

As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021

As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021