

JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
(ORGANIZADORES)

---

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
(ORGANIZADORES)

---

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

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-Não-Derivativos 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



**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann.

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

C697 Collection: applied electrical engineering / Organizadores  
João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta  
Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-858-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.585222801>

1. Electrical engineering. I. Dallamuta, João  
(Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III.  
Título.

CDD 621.3

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.com.br



## 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 elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

Neste livro temos uma diversidade de temas, níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A MODEL BASED DESIGN APPROACH FOR KNOCK CONTROL IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING MACHINE LEARNING**

Eduardo Vieira Falcão

Vinicius Mafra Melo

Péricles Rezende Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228011>

### **CAPÍTULO 2..... 15**

#### **DEVELOPMENT OF A COMPUTATIONAL TOOL FOR DIMENSIONING AND ANALYZING THE ECONOMIC FEASIBILITY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**

David Coverdale Rangel Velasco

Elivandro Tavares Lôbo

Welder Azevedo Santos

Wagner Vianna Bretas

Rodrigo Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228012>

### **CAPÍTULO 3..... 21**

#### **OTIMIZAÇÃO DE OPERAÇÕES MODULARES ATRAVÉS DO USO DE PSEUDO-MÓDULOS**

Augusto Cezar Boldori Vassoler

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228013>

### **CAPÍTULO 4..... 33**

#### **OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA USANDO SIMULAÇÃO MATEMÁTICA E TESTES EXPERIMENTAIS**

Eduardo G. Silva

Alexandre S. Caporali

Cesar da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228014>

### **CAPÍTULO 5..... 49**

#### **MAPAS COGNITIVOS FUZZY DINÂMICOS ADAPTATIVOS APLICADOS EM PROCESSO INDUSTRIAL**

Márcio Mendonça

Francisco de Assis Scannavino Junior

Wagner Fontes Godoy

Lucas Botoni de Souza

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Fábio Rodrigo Milanez

Carlos Alberto Paschoalino

Michele Eliza Casagrande Rocha

Vicente de Lima Gongora

Ricardo Breganon

Marcio Aurélio Furtado Montezuma

Emanuel Ignacio García

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228015>

**CAPÍTULO 6..... 61**

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DIDÁTICO SOBRE FILTROS PROBABILÍSTICOS EMPREGADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO EM ROBÓTICA MÓVEL

José Lucas Araújo dos Santos

Luciano Buonocore

Luiz Eugênio Santos Araújo Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228016>

**CAPÍTULO 7..... 74**

EFFECTO DE LA IMPLANTACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA ESPAÑOLA

Paula Romo Santos

Begoña Lapeña Barrio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228017>

**CAPÍTULO 8..... 90**

INSTALAÇÃO DE MEDIÇÃO NOS ALIMENTADORES DAS SUBESTAÇÕES

Adalberto Leandro da Silva

Fabio Coelho de Santana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228018>

**CAPÍTULO 9..... 106**

PROJETO DE OUVIDORIA DA DISTRIBUIÇÃO DA EDP SÃO PAULO – ANÁLISE DE DEMANDA DE MAIOR IMPACTO

Márcia Lúcia Lopes de Souza Jesus

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228019>

**CAPÍTULO 10..... 114**

DIAGNÓSTICO, CRESCIMENTO E ATENUAÇÃO DE RISCOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM FAVELAS

Márcio Mendonça

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Fábio Rodrigo Milanez

Wagner Fontes Godoy

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Carlos Alberto Paschoalino

Francisco de Assis Scannavino Junior

Vicente de Lima Gongora

Lucas Botoni de Souza

Michele Eliza Casagrande Rocha

José Augusto Fabri

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280110>

**CAPÍTULO 11..... 127**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UMA EDIFICAÇÃO DA CIDADE DE PORTO VELHO - RO**

Angelina Lidiane Moura Cunha  
Felipe Alexandre Souza da Silva  
Antonio Carlos Duarte Ricciotti  
Viviane Barrozo da Silva  
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280111>

**CAPÍTULO 12..... 140**

**O DESEMPENHO E EFICIÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM PALMAS - TO: ANÁLISE EM FUNÇÃO DO PONTO CARDEAL E VARIAÇÃO ANGULAR DAS PLACAS**

Aline Silva Magalhães  
Jabson da Cunha Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280112>

**CAPÍTULO 13..... 153**

**SIMULADOR DE CARGA UTILIZANDO MECANISMO DE FRENAGEM ELETROMAGNÉTICA PARA ENSAIOS DE COMPORTAMENTO DE MÁQUINAS ASSÍNCRONAS**

Murilo Meneghetti Caramori  
Alexandre Dalla Rosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280113>

**CAPÍTULO 14..... 184**

**PROPOSTA DE GEOMETRIAS DE NÚCLEOS USADOS EM ACOPLAMENTOS DE SISTEMAS ATRAVÉS DO FLUXO MAGNÉTICO**

Lucas Lapolli Brighenti  
Walbermark Marques Dos Santos  
Denizar Cruz Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280114>

**CAPÍTULO 15..... 198**

**DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA DE ESTIRENO-BUTADIENO (SBR) PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO**

Harison Franca do Santos  
Arthur Pimentel de Carvalho  
Carlos Toshiyuki Hiranobe  
Eduardo Roque Budenberg  
Gabriel Deltrejo Ribeiro  
Giovanni Barrera Torres  
Jose Francisco Resende  
Leonardo Lataro Paim  
Leandra Oliveira Salmazo  
Miguel Ángel Rodríguez Pérez

Renivaldo José dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280115>

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>210</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>211</b>

# CAPÍTULO 15

## DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA DE ESTIRENO- BUTADIENO (SBR) PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO

*Data de aceite:* 10/01/2022

*Data de submissão:* 15/11/2021

### **Harison Franca do Santos**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Engenharia de Energia, Campus de Rosana  
Rosana, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4413434710945852>

### **Arthur Pimentel de Carvalho**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Engenharia de Energia, Campus de Rosana  
Rosana, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1871599705324285>

### **Carlos Toshiyuki Hiranobe**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Engenharia de Energia, Campus de Rosana  
Rosana, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6394135976740037>

### **Eduardo Roque Budenberg**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Engenharia de Energia, Campus de Rosana  
Rosana, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5528617902631667>

### **Gabriel Deltrejo Ribeiro**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Faculdade de Ciência e Tecnologia,  
Departamento de Física, Campus de  
Presidente Prudente  
Presidente Prudente, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3536726680653435>

### **Giovanni Barrera Torres**

Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM),  
Departamento de Ingeniería de Diseño  
Industrial  
Medellín, Colombia  
<http://lattes.cnpq.br/9777703901172514>

### **Jose Francisco Resende**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Engenharia de Energia, Campus de Rosana  
Rosana, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3023885342426808>

### **Leonardo Lataro Paim**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Engenharia de Energia, Campus de Rosana  
Rosana, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4328309612941987>

### **Leandra Oliveira Salmazo**

Universidade de Valladolid (Uva),  
Departamento de Física da Matéria  
Condensada, Campus de Valladolid  
Valladolid, Espanha  
<http://lattes.cnpq.br/83444481361054517>

### **Miguel Ángel Rodríguez Pérez**

Universidade de Valladolid (Uva),  
Departamento de Física da Matéria  
Condensada, Campus de Valladolid  
Valladolid, Espanha  
<https://orcid.org/0000-0002-3607-690X>

### **Renivaldo José dos Santos**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Engenharia de Energia, Campus de Rosana  
Rosana, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0254580245173848>

**RESUMO:** Este trabalho baseou-se na avaliação da densidade de ligações cruzadas em compostos de borracha de estireno butadieno (SBR) vulcanizada em três diferentes sistemas de cura: convencional (CV), semi-eficiente (SEV) e eficiente (EV) a partir dos seguintes métodos de caracterização: inchamento em solvente orgânico utilizando a Equação de Flory-Rehner; resistência à tração por meio da Equação de Mooney-Rivlin; análise dinâmico-mecânica (DMA). Os resultados dos ensaios mostraram que o sistema EV, embora tenha apresentado menores índices de reticulação e baixa resistência à abrasão, formou compostos de borracha com propriedades superiores quanto à resistência à tração na ruptura e menor tempo de vulcanização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Borracha sintética; densidade de ligações cruzadas; Flory-Rehner; Mooney-Rivlin; SBR.

## DETERMINATION OF CROSSLINK DENSITY FOR STYRENE-BUTADIENE RUBBER (SBR) IN DIFFERENTS VULCANIZATION SYSTEMS

**ABSTRACT:** This work was based on the evaluation of crosslink density in styrene butadiene rubber (SBR) compounds vulcanized in three different curing systems: conventional (CV), semi-efficient (SEV) and efficient (EV) based on the following characterization methods: swelling in organic solvent using the Flory-Rehner equation; tensile strength through the Mooney-Rivlin Equation; dynamic-mechanical analysis (DMA). The tests showed that the EV system, even with lower crosslinking indices, showed a better in the results of tensile strength and maximum torque combined with a shorter curing time, compared to the other systems - despite the lower values of hardness and abrasion resistance.

**KEYWORDS:** Synthetic rubber; Crosslink density; synthetic rubber; Flory-Rehner; Mooney Rivlin; SBR.

## 1 | INTRODUÇÃO

A borracha de estireno-butadieno, SBR, é um tipo sintético de elastômero formado a partir dos monômeros de estireno e butadieno, sendo obtida a partir da emulsão na forma quente ou fria. Este tipo de elastômero representa grande parcela da borracha utilizada na indústria, principalmente na indústria automobilística, diversificando-se entre aplicações simples como correias e mangueiras a aplicações sofisticadas de pneus (CHU *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2015). A grande vantagem da borracha SBR sobre as demais borrachas sintéticas se deve principalmente ao baixo custo, boas propriedades físicas e sua estabilidade ao envelhecimento térmico - enquanto vulcanizada. O desempenho do SBR está associado as reticulações formadas a partir do processo de vulcanização, que se resume na criação de “links” entre as cadeias elastoméricas, melhorando o desempenho térmico e mecânico do composto (COSTA *et al.*, 2003).

O processo de vulcanização é bastante complexo, sendo bastante abordado na literatura, por promover, a partir de um agente de cura e por ação do calor, alterações físicas na molécula da borracha formando uma rede tridimensional conectada (COSTA *et al.*, 2003). Atualmente o agente vulcanizante mais utilizado é o enxofre devido ao baixo

custo e sua eficiência. Além disso, outros reagentes químicos podem ser adicionados durante a formulação da borracha. Eles têm a função de aprimorar o processo de acordo com aplicação, flexibilizando a manipulação das propriedades finais desejadas no composto (LI *et al.*, 2020). Este é o caso dos aceleradores e ativadores. O primeiro, como o próprio nome diz, serve principalmente para reduzir o tempo de cura do processo, e a razão entre acelerador e enxofre,  $r = \text{acelerador/enxofre}$ , permite a distinção do sistema de vulcanização da borracha, denominados de convencional (CV), com  $r$  entre 0,1 e 0,6; semi-eficiente (SEV), com  $r$  entre 0,7 e 2,5; eficiente (EV), com  $r$  entre 2,5 e 12 (CUI *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2019). Cada sistema promove diferentes proporções de ligações, que são classificadas entre monossulfídicas, dissulfídicas e polissulfídicas. Além disso a predominância de algum tipo dessas ligações promove diferentes propriedades no material. Outro parâmetro bastante importante na análise do comportamento da borracha é a densidade de ligações cruzadas - responsável pela melhora do desempenho físico do composto reticulado (CHOI e KIM, 2012).

Nos últimos anos, vários estudos avaliando o comportamento do SBR com a incorporação de cargas foram produzidos, o que contribuiu no desenvolvimento de novos materiais para diversas aplicações, como exemplo de cargas podemos citar: negro de carbono, sílica, carbonato de cálcio, argilas, fibras vegetais e entre outros (ESMAEELI e FARHAD, 2020).polymers have attracted the attention of various industrial engineering systems. Accurate examination and measurement of physical properties of polymers is a key step required for their full-scale adoption and integration in industrial settings. Simulation studies, provide a relatively inexpensive and valuable analytical framework for analyzing the physical properties of such systems. Generalized Maxwell Model (GMM. Neste contexto, o presente trabalho estudou a densidade de ligações cruzadas e as propriedades mecânicas dos compostos reticulados nos sistemas de vulcanização convencional, semi-eficiente e eficiente, sem a necessidade de incorporação de cargas.

## 2 | METODOLOGIA

Os compostos foram confeccionados a partir de três sistemas de vulcanização, convencional (CV), semi-eficiente (SEV) e eficiente (EV). A Tabela 1 apresenta as formulações utilizadas na preparação dos compostos em PHR (*per hundred rubber*) de acordo com o sistema de vulcanização.

Formulação dos compostos			
Materiais	Sistemas de vulcanização (phr)		
	Convencional	Semi-eficiente	Eficiente
SBR 1502	100,00	100,00	100,00
Ácido esteárico	2,0	2,0	2,0
Óxido de zinco	4,0	4,0	4,0
Enxofre	2,0	1,0	0,5
MBTS*	0,8	1,0	1,5
TMTD**	0,4	0,5	0,5

\* dissulfeto de dibenzotiazol \*\*dissulfeto de Tetrametiluram

Tabela 1: Formulação dos compostos e sistemas de vulcanização.

## 2.1 Reometria

Os dados foram obtidos a uma temperatura de 160 °C e arco de 1°, conforme a norma **ASTM D5289**. Por meio das curvas de reometria foram determinados os parâmetros reométricos como: torque mínimo ( $M_L$ ), torque máximo ( $M_H$ ), tempo de pré-cura ( $t_{S1}$ ) e tempo ótimo de vulcanização ( $t_{90}$ ).

## 2.2 Dureza e resistência à abrasão

A dureza foi determinada em um durômetro na escala Shore A, de acordo com a norma **ASTM D2240**. A equação 1 foi utilizada para calcular o índice de resistência à abrasão.

$$IR = \frac{m_1 d_t}{m_t d_1} * 100 \quad (1)$$

Onde: IR é o índice de resistência à abrasão,  $m_1$  é a massa da borracha padrão,  $\rho_1$  é a densidade da borracha teste,  $m_t$  a massa da borracha teste e  $d_1$  a densidade da borracha padrão.

## 2.3 Densidade de Ligações Cruzadas por inchamento (Flory-Rehner)

A densidade de ligações cruzadas dos compostos foi determinada pela técnica de inchamento com amostras 0,25 0,05 g imersas em tolueno por 5 dias. Posteriormente, as amostras foram retiradas, secadas para eliminar o excesso do solvente e pesadas. Em seguida, foram levadas a uma estufa, sob temperatura de 60 °C por 24 horas e pesadas novamente. Assim, com os dados da massa da amostra seca, massa da amostra após inchamento e massa do solvente preso na amostra a densidade de ligação cruzada foi calculada utilizando a Equação 2 desenvolvida por Flory-Rehner:

$$\eta = \frac{-(\ln(1 - V_B) + V_B + x(V_B)^2)}{(\rho_B)(V_0)(V_B^{\frac{1}{3}} - \frac{V_B}{2})} \quad (2)$$

Onde,  $\eta$  é a densidade de ligações cruzadas ( $\text{mol}/\text{cm}^3$ ),  $X$  o parâmetro de interação polímero-solvente ou parâmetro de *Flory-Huggins* (0,39),  $\rho_B$  a densidade da borracha, o volume molar do solvente ( $106,4 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ) e  $V_B$  a fração de volume de borracha da forma inchada, determinada a partir do aumento de peso pelo inchamento.

## 2.4 Densidade de Ligações Cruzadas pelo Método de Mooney-Rivlin

Os ensaios de tração foram realizados segundo a norma **ASTM D412**, Método A, em um equipamento da marca EMIC modelo DL 200, a velocidade de  $500 \text{ mm min}^{-1}$  com célula de carga de 500 N. A equação de Mooney-Rivlin foi usada para a determinação da densidade de ligações cruzadas baseado no ensaio de tensão-deformação. Para o presente material foram usadas as Equações 3 e 4 (NÖCHEL *et al.*, 2015).

$$F = 2A_0(\lambda - \lambda^{-2})(C_1 + C_2\lambda^{-1}) \quad (3)$$

$$\frac{\sigma}{(\lambda - \lambda^{-2})} = 2C_1 + \frac{2C_2}{\lambda} \quad (4)$$

Onde  $F$  é a força requerida no material vulcanizado,  $A_0$  é a área transversal não esticada do material,  $V_f$  é a fração do volume do material inchado obtido na Equação de Flory-Rehner,  $\sigma$  é identificado como  $F/A_0$ ,  $\lambda$  é a relação de extensão ( $1 + \varepsilon$ ) sendo  $\varepsilon$  a deformação e  $C_1$  e  $C_2$  são constantes que caracterizam o material (HOWSE *et al.*, 2018; EISELE, 1990). Estas constantes, por sua vez, podem ser determinadas graficamente, ao plotar  $\frac{\sigma}{(\lambda - \lambda^{-2})}$  por  $1/\lambda$  é possível determinar as constantes  $C_1$  e  $C_2$ , uma vez que  $C_1$  é interpretado como o ponto da curva que corta o eixo ordenado, assim obtendo o seu valor. E  $C_2$  é interpretado como a inclinação da curva (HAGEN; SALMÉN; STENBERG, 1996). De mesmo modo,  $C_1$  é utilizado para determinar a densidade de ligações cruzadas manifestadas fisicamente ( $n_f$ ) a partir da seguinte Equação 5 (SOMBATSOMPOP, 1998).

$$n_f = \frac{C_1}{RT} \quad (5)$$

Em que  $R$  é a constante universal dos gases e  $T$  é a temperatura absoluta.

## 2.5 Densidade de Ligações Cruzadas por DMA

Neste ensaio, a densidade de ligações cruzadas foi determinada utilizando o equipamento da marca Mettler e modelo DMA-861e, sendo que o range de temperatura adotado foi de  $-100 \text{ }^\circ\text{C}$  à  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  com uma taxa de aquecimento de  $5 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ , em corpos de prova com dimensões de  $1 \times 2 \times 10 \text{ cm}$  aproximadamente. Os corpos de prova foram submetidos a frequência de 3 Hz para avaliar a sua resposta e seu tempo de relaxação. A determinação da densidade de ligações cruzadas por DMA foi realizada a partir da Equação 6:

$$n = \frac{E'}{6RT} \quad (6)$$

Onde  $n$  é o grau de reticulação do material,  $E'$  o módulo de armazenamento,  $R$  é a constante universal dos gases e  $T$  a temperatura absoluta.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Reometria

A Figura 1, item a, apresenta os valores dos torques mínimo e máximo obtidos nos ensaios reométricos dos compostos, no item b, é apresentado o tempo ótimo de vulcanização,  $t_{90}$ . Todos estes dados foram obtidos por meio dos ensaios reométricos. Os valores de torque mínimo,  $M_L$ , estão associados a viscosidade do composto não reticulado, enquanto os de torque máximo,  $M_H$ , estão associados ao efeito das reticulações, pois elas atuam de forma a restringir a mobilidade das cadeias, tornando mais difícil o movimento realizado pelo platô do reômetro. Sendo assim, é possível obter o parâmetro associado a elasticidade do material promovido pelas reticulações formadas durante a vulcanização,  $\Delta M = M_H - M_L$ . O  $t_{90}$  indica o tempo necessário para realizar a formação de 90 % das ligações cruzadas e foi usado para determinar os tempos de moldagem das amostras para os demais ensaios.

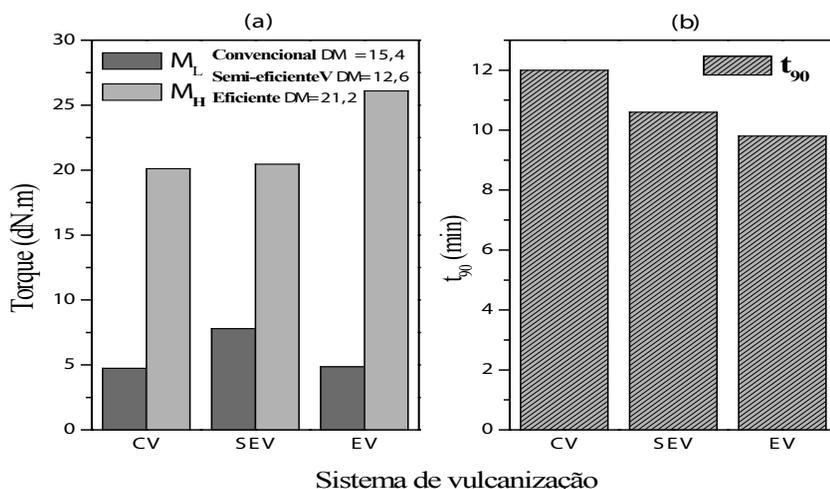


Figura 1:(a) Dados de torque máximo e mínimo; (b) tempo ótimo de vulcanização.

Observa-se valores próximos para os torques mínimos dos sistemas CV e EV, exceto para o sistema SEV que apresentou valor relativamente maior devido à maior viscosidade do composto. Após a vulcanização nota-se grande aumento nos valores de torque, sendo  $\Delta M$  maior para EV, conferidos pela formação das pontes de enxofre. Por fim observa-se que o valor do tempo ótimo de vulcanização foi menor para o sistema EV, SEV

e CV respectivamente – indicando correlação inversamente proporcional entre o tempo de vulcanização e o maior teor de aceleradores.

### 3.2 Dureza

A Figura 2 apresenta os resultados de dureza e índice de resistência à abrasão da borracha vulcanizada. A dureza está diretamente relacionada a densidade de reticulação e fornece um rápido indicativo da variação de propriedades mecânicas afetadas por mudanças nas condições químicas ou de processamento (MOSTAFA *et al.*, 2009). Já o índice de resistência à abrasão, como o próprio nome sugere, é um indicativo da resistência do material sob efeito abrasivo, baseado na perda de massa durante o ensaio. Os resultados de dureza são maiores para CV, SEV e EV (ESCÓCIO *et al.*, 2004). Nesse contexto, o maior índice de dureza para o sistema convencional sugere também uma maior quantidade de ligações cruzadas.

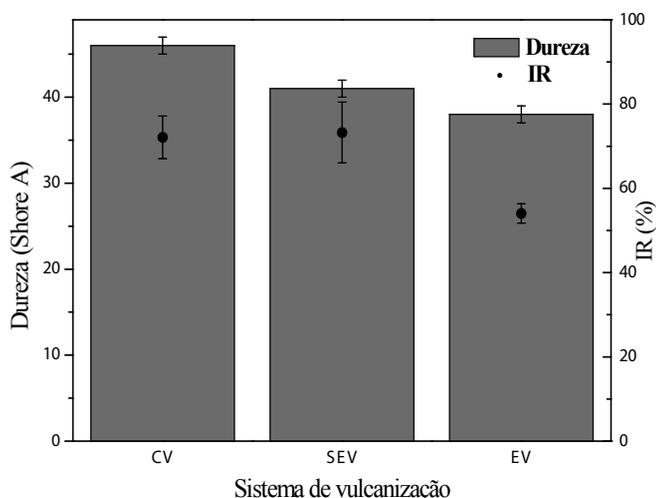


Figura 2: Ensaio de dureza e índice de resistência à abrasão para os três sistemas de vulcanização.

Para o índice de resistência à abrasão observa-se que SEV, juntamente com CV, possuem maiores valores de IR, ou seja, menores perdas de massas em relação ao desgaste abrasivo, isto pode ser interpretado como a melhor resposta ao ensaio. Este índice também está associado a densidade de ligações cruzadas.

### 3.3 Densidade de ligações cruzadas

A Figura 3 apresenta os resultados de densidade de ligações cruzadas obtidas a partir das técnicas inchamento (equação de Flory-Rehner), Mooney-Rivlin e o DMA. A densidade de reticulação é um importante parâmetro que ajuda a entender o comportamento dos vulcanizados (ABD-EL-MESSIEH e ABD-EL-NOUR, 2003). Seus valores estão

associados a parâmetros como quantidade de enxofre na formulação, temperatura e tempo de vulcanização, além da quantidade de acelerador. O ensaio de inchamento avalia a quantidade de regente que permeia a borracha, inchando-a, assim, quanto maior a quantidade de ligações cruzadas menor será seu volume inchado do composto, e a partir da equação de Flory-Rehner é possível obter a densidade de ligação cruzada (GEORGE, KNÖRGEN e THOMAS, 1999). A análise de tração, a partir da equação de Mooney-Rivlin, permite obter valores de densidade de reticulação manifestadas fisicamente (SOMBATSOMPOP, 1998) was observed under a constrained swelling condition of 100% elongation (by length,(HAGEN, SALMÉN e STENBERG, 1996). Já os valores obtidos por DMA permitem calcular a densidade de ligações cruzadas avaliando a energia elástica armazenada, pois no estado borrachoso as cadeias laterais e ramificações se movimentam sob influência do aumento da temperatura, contudo a presença das pontes de enxofre limita o movimento rotacional dos segmentos (HAGEN, SALMÉN e STENBERG, 1996; SHENG, LEE e KESSLER, 2009). Na Figura 3 observa-se maiores valores de densidade de ligações para CV, SEV e EV, respectivamente, conforme os ensaios de inchamento e Mooney-Rivlin. Para o ensaio de DMA nota-se que SEV difere dos demais, contudo, a diferença pode estar relacionada ao erro padrão dos valores, bem como o tempo de resposta do material – que está associado com à frequência do ensaio.

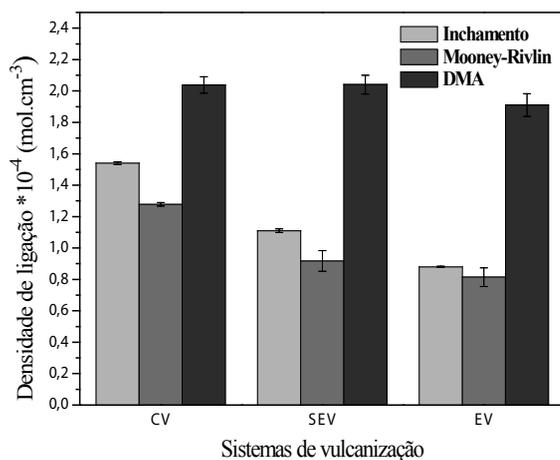


Figura 3: Densidade de ligações cruzadas a partir de diferentes ensaios.

Além disso, esperava-se que os resultados obtidos por Mooney-Rivlin fossem maiores ao inchamento, já que este possui contribuições de emaranhamento que afetam a mobilidade das cadeias. Contudo, essa discrepância pode estar associada a contribuição de diferentes emaranhados que variam de acordo com o estresse desenvolvido no sistema. Por fim, os resultados sugerem que a contribuição dos emaranhados de cadeias

são maiores em densidades de reticulação mais baixas (DIEZ *et al.*, 2010; OGURA e TAKAHASHI, 2003) 2-mercaptobenzothiazole disulphide (MBTS). Os valores de densidade de ligações cruzadas obtidos através de DMA possui patamares superiores aos ensaios anteriores em função da dependência do tempo de resposta do material aos efeitos de desemaranhamento das cadeias da borracha (HAGEN, SALMÉN e STENBERG, 1996).

### 3.4 Resistência à tração

A Figura 4 apresenta as curvas obtidas pelo ensaio de tração, bem como os valores de tensão de ruptura. Em geral, o valor desta tensão está associado a densidade de ligações cruzadas, mobilidade das cadeias, tipo de ligação e cristalização do material sob alongamento, entretanto, o SBR é um polímero de comportamento amorfo, o que faz com que os resultados obtidos sejam referentes as características supracitadas, exceto pela cristalização induzida por deformação, além disso, quanto maior a quantidade de ligações cruzadas menor é a deformação do material, já que as cadeias poliméricas ficam mais restritas na presença das pontes de enxofre (SOUZA OLIVEIRA, De *et al.*, 2016).

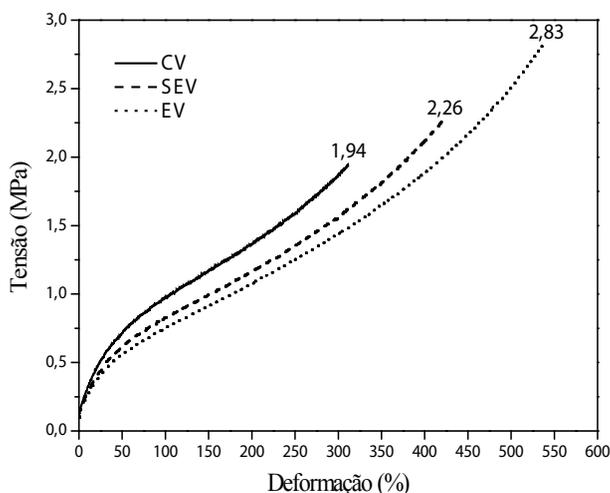


Figura 4: Curva de tensão versus deformação e tensão de ruptura.

Como esperado, CV teve a menor deformação até a ruptura, seguido por SEV e EV, respectivamente, dado a maior densidade de ligações restringindo o movimento das cadeias. Além disso, esperava-se também maiores resultados de tensão de ruptura seguindo a mesma ordem, todavia nota-se que EV apresentou valores maiores. Esta incongruência pode ser explicada a partir da premissa de tensão de ruptura não é função linear do aumento da densidade de reticulação – apesar de sua dependência, ela atinge um pico e a partir daí o aumento no número de ligações causa a diminuição no valor de tensão

de ruptura (DUDEK e BUECHE, 1964; KOK e YEE, 1986).

## 4 | CONCLUSÃO

Sob a perspectiva dos sistemas de vulcanização convencional, semi-eficiente e eficiente, utilizando SBR vulcanizada e cura isotérmica, o sistema de vulcanização EV, mesmo com menores índices de reticulação, apresentou maiores valores de tensão de ruptura e torque máximo, apesar de seus valores de dureza e resistência à abrasão serem inferiores em comparação com os demais. Sendo assim, espera-se que a obtenção da SBR vulcanizada utilizando o sistema EV com níveis de reticulação semelhantes aos obtidos para SEV e CV deste estudo, mas aumentando a proporção de acelerador e enxofre, possa promover ao vulcanizado propriedades de dureza e resistência à abrasão superiores àquelas encontradas para SEV e CV. Com relação as ligações cruzadas notou-se a esperada correlação entre a densidade de *crosslinks* e quantidade de enxofre presente nas amostras, principalmente para os ensaios de inchamento e Mooney-Rivlin, ou seja, a proporção de enxofre influenciou diretamente o número de ligações na SBR. Por fim, conclui-se que nas amostras estudadas neste trabalho, juntamente com os níveis de reticulação encontrados – e, utilizando a SBR, maiores índices de reticulação não contribuem efetivamente para promoção maiores índices de propriedades de tensão de ruptura, tampouco torque máximo  $M_H$ .

## REFERÊNCIAS

ABD-EL-MESSIEH, S. L.; ABD-EL-NOUR, K. N. **Effect of curing time and sulfur content on the dielectric relaxation of styrene butadiene rubber.** Journal of Applied Polymer Science, v. 88, n. 7, p. 1613–1621, 2003.

CHOI, S. S.; KIM, J. C. **Lifetime prediction and thermal aging behaviors of SBR and NBR composites using crosslink density changes.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 18, n. 3, p. 1166–1170, 2012.

CHU, H. Z.; LIU, D.; CUI, Z. W.; WANG, K.; QIU, G. X.; LIU, G. Y. **Effect of crosslink density on solubility parameters of styrene butadiene rubber and the application in pre-screening of new potential additives.** Polymer Testing, v. 81, p. 106253, 2020.

COSTA, H. M. DA; VISCONTE, L. L. Y.; NUNES, R. C. R.; FURTADO, C. R. G. **Aspectos históricos da vulcanização.** Polímeros, v. 13, n. 2, p. 125–129, 2003.

CUI, J.; ZHANG, L.; WU, W.; CHENG, Z.; SUN, Y.; JIANG, H.; LI, C. **Zinc oxide with dominant (1 0 0) facets boosts vulcanization activity.** European Polymer Journal, v. 113, p. 148–154, 2019.

DIEZ, J.; BELLAS, R.; LÓPEZ, J.; SANTORO, G.; MARCO, C.; ELLIS, G. **Study of the crosslink density, dynamo-mechanical behaviour and microstructure of hot and cold SBR vulcanizates.** Journal of Polymer Research, v. 17, n. 1, p. 99–107, 2010.

DUDEK, T. J.; BUECHE, F. **Tensile strength of gum and reinforced EPR and SBR vulcanizates.** Journal of Applied Polymer Science, v. 8, n. 2, p. 555–564, 1964.

ESCÓCIO, V. A.; MARTINS, A. F.; VISCONTE, L. L. Y.; NUNES, R. C. R. **Efeito do envelhecimento nas propriedades mecânicas e dinâmico-mecânicas de composições de borracha natural com mica.** Polímeros, v. 14, n. 1, p. 13–16, 2004.

ESMAEELI, R.; FARHAD, S. **Parameters estimation of generalized Maxwell model for SBR and carbon-filled SBR using a direct high-frequency DMA measurement system.** Mechanics of Materials, v. 146, n. November, p. 1–8, 2020.

GEORGE, S. C.; KNÖRGEN, M.; THOMAS, S. **Effect of nature and extent of crosslinking on swelling and mechanical behavior of styrene-butadiene rubber membranes.** Journal of Membrane Science, v. 163, p. 1–17, 1999.

HAGEN, R.; SALMÉN, L.; STENBERG, B. **Effects of the type of crosslink on viscoelastic properties of natural rubber.** Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics, v. 34, n. 12, p. 1997–2006, 1996.

KOK, C. M.; YEE, V. H. **The effects of crosslink density and crosslink type on the tensile and tear strengths of NR, SBR and EPDM gum vulcanizates.** European Polymer Journal, v. 22, p. 341–345, 1986.

LI, K.; YOU, J.; LIU, Y.; ZHU, K.; XUE, C.; GUO, X.; WANG, Z.; ZHANG, Y. **Functionalized starch as a novel eco-friendly vulcanization accelerator enhancing mechanical properties of natural rubber.** Carbohydrate Polymers, v. 231, p. 1–29, 2020.

LI, Y.; WU, Y.; LUO, Y.; CHAN, T. W.; ZHANG, L.; WU, S. **A combined experimental and molecular dynamics simulation study on the structures and properties of three types of styrene butadiene rubber.** Materials Today Communications, v. 4, p. 35–41, 2015.

MOSTAFA, A.; ABOUEL-KASEM, A.; BAYOUMI, M. R.; EL-SEBAIE, M. G. **Insight into the effect of CB loading on tension, compression, hardness and abrasion properties of SBR and NBR filled compounds.** Materials and Design, v. 30, p. 1785–1791, 2009.

NÖCHEL, U.; REDDY, C. S.; WANG, K.; CUI, J.; ZIZAK, I.; BEHL, M.; KRATZ, K.; LENDLEIN, A. **Nanostructural changes in crystallizable controlling units determine the temperature-memory of polymers.** Journal of Materials Chemistry A, v. 3, n. 16, p. 8284–8293, 2015.

OGURA, K.; TAKAHASHI, M. **Uniaxial and biaxial extension behavior of a lightly cross-linked PMMA melt at constant strain rates.** Nihon Reorji Gakkaishi, v. 31, n. 2, p. 79–83, 2003.

SHENG, X.; LEE, J. K.; KESSLER, M. R. **Influence of cross-link density on the properties of ROMP thermosets.** Polymer, v. 50, n. 5, p. 1264–1269, 2009.

SOMBATSOMPOP, N. **Investigation of swelling behavior of NR vulcanizates.** Polymer - Plastics Technology and Engineering, v. 37, n. 1, p. 19–39, 1998.

SOUZA OLIVEIRA, M. A. DE; CASSU, S. N.; MELLO, S. A. C. DE; DUTRA, J. C. N. **Influência do método de vulcanização nas propriedades mecânicas e na densidade de ligações cruzadas da borracha natural.** Polímeros, v. 26, p. 43–48, 2016.

WANG, M.; ZHU, J.; ZHANG, S.; YOU, G.; WU, S. **Influencing factors for vulcanization induction period of accelerator / natural rubber composites: Molecular simulation and experimental study.** Polymer Testing, v. 80, n. July, p. 106145, 2019.

HOWSE, Samantha et al. **Experimental determination of the quantity and distribution of chemical crosslinks in unaged and aged natural rubber, part 1: Peroxide vulcanization.** Polymer Testing, v. 70, p. 263-274, 2018.

NORMA, ASTM D 2240. **Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness.** ASTM American Society for Testing and Materials, 2010.

NORMA, ASTM D 412 - **Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers – Tension.** ASTM American Society for Testing and Materials; 2013.

SALEESUNG, Thanisararat et al. **Correlation of crosslink densities using solid state NMR and conventional techniques in peroxide-crosslinked EPDM rubber.** Polymer, v. 56, p. 309-317, 2015.

SOMBATSOMPOP, N. **Practical Use of the Mooney–Rivlin Equation for Determination of Degree of Crosslinking of Swollen NR Vulcanisates.** J. Sci. Soc. Thailand, v. 24, n. 3, p. 199-204, 1998.

U. Eisele (Ed.), **An introduction to polymer physics**, Springer-Verlag, Berlim (1990).

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**JOÃO DALLAMUTA** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre em engenharia elétrica pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE.

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

ADMI 106, 108

Alimentadores 90, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105

Angulação 140, 141, 142, 143, 144, 147, 150, 151

Aprendizagem baseada em projetos 115, 118

Atenuação de riscos 114, 115

### B

Balanco energético 20, 90, 91, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Barramento magnético 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192

Bomba centrífuga 33, 35, 41, 46

Borracha sintética 199

### C

Circuitos digitais 21

Cliente 106, 108, 110, 112, 113

Controle adaptativo 50

Conversor CA/CC 153, 158

Conversor MAB 184, 187, 188

Correntes de Foucault 153, 155, 162

### D

Densidade de ligações cruzadas 198, 199, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 209

Descargas atmosféricas 119, 127, 128, 129, 130, 133, 134, 137, 138, 139

Direcionamento 140, 141, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151

### E

Economic feasibility 15

Eficiência energética 33, 35, 40, 41, 140, 151

Electronic spreadsheet 15

Energia solar 20, 113, 140, 141, 143, 145, 150, 151, 152

Engenharia elétrica 49, 61, 62, 114, 115, 138, 152, 182, 184, 210

Engine knock 1, 2, 3, 13, 14

### F

Filtros probabilísticos 61, 62, 63, 72

Flory-Rehner 199, 201, 202, 204, 205

Freio eletromagnético 153, 154, 156, 158, 159, 161, 165, 166, 181, 182

Fuzzy cognitive maps 50, 51, 58, 59, 60

## I

Inversor de frequência 33, 34, 35, 39, 40, 43

## L

Localização 61, 62, 63, 64, 68, 69, 70, 71, 72, 132, 143, 144

Logistic regression 1, 2, 3, 4, 14

## M

Machine learning 1, 4

Medição de alimentadores 90

Misturador industrial 50

Model based design 1

Mooney-Rivlin 199, 202, 204, 205, 207

## N

Núcleos magnéticos 184

## O

Operações modulares 21

Ouvidoria 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113

## P

Perda de energia 90

Photovoltaic energy 15, 16, 20

Prazos serviços comerciais 106

Processamento digital de sinais 21

## Q

Qualidade de energia 90, 91, 92, 167

## R

Red de distribución eléctrica 74

Responsabilidade social 115, 116, 118

Robótica 61, 62, 63, 64, 67, 68, 72, 73, 162

## **S**

Satisfação 106, 108, 109, 111, 112, 113

SBR 198, 199, 200, 201, 206, 207, 208

Sistema de distribuição de água 33, 34, 35, 40, 41, 42, 43, 46

Sistemas de proteções contra descargas atmosféricas 128

Smart grid 74, 75, 86, 88

## **T**

Transformador de estado sólido 184

## **V**

Vehículo eléctrico 74, 75, 76, 77, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88

Videoaulas 61, 62, 72

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

  
Ano 2022

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

  
Ano 2022