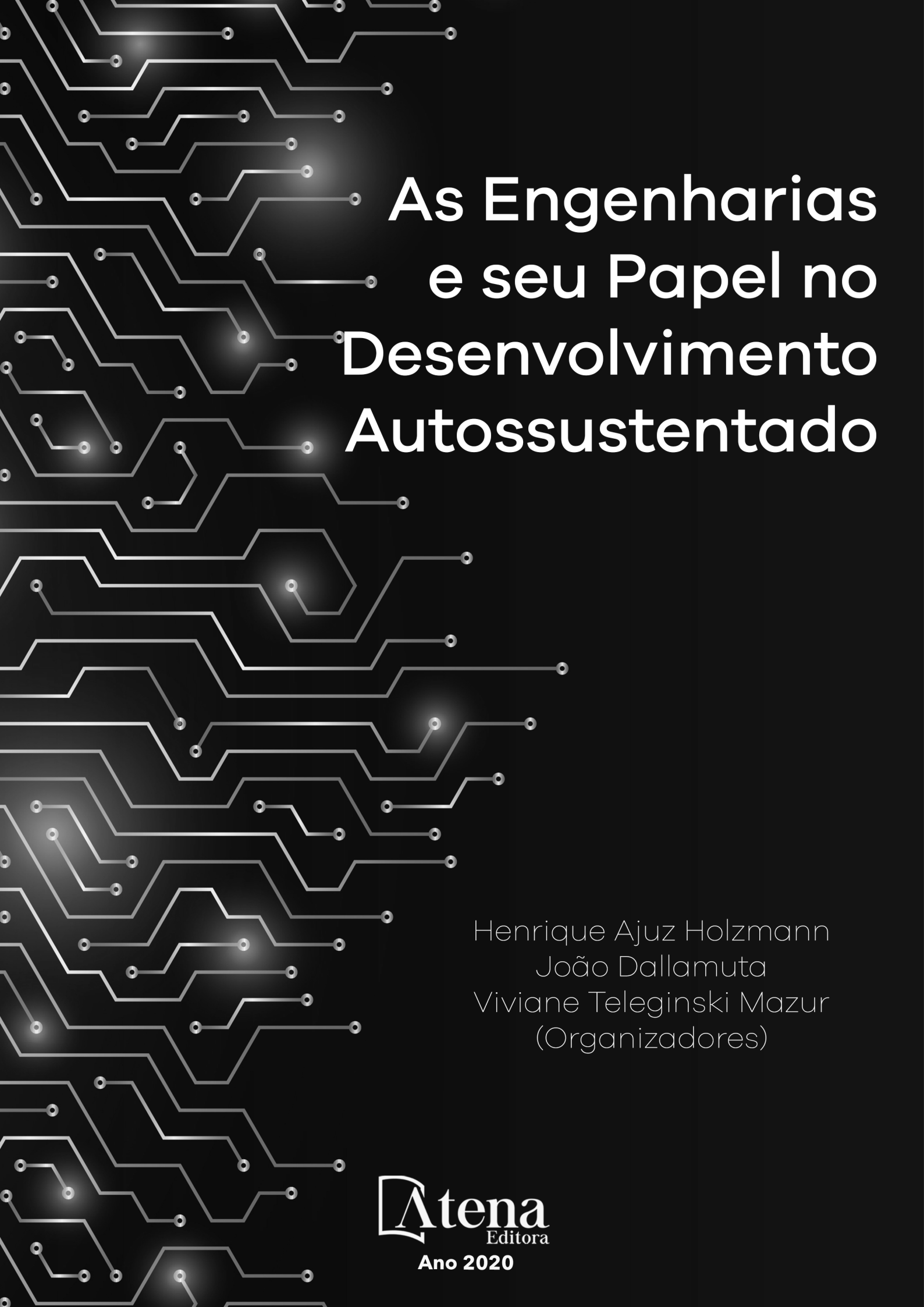


# As Engenharias e seu Papel no Desenvolvimento Autossustentado

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Viviane Teleginski Mazur  
(Organizadores)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020



# As Engenharias e seu Papel no Desenvolvimento Autossustentado

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Viviane Teleginski Mazur  
(Organizadores)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Lorena Prestes

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª 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  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª 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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª 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 José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
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  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
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  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 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  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
 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  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>As engenharias e seu papel no desenvolvimento autossustentado [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta, Viviane Teleginski Mazur. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acesso: World Wide Web            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-146-6            DOI 10.22533/at.ed.466203006</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Mazur, Viviane Teleginski.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias e seu Papel no Desenvolvimento Autossustentado Vol. 1 e 2 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 24 capítulos, com assuntos voltados a engenharia elétrica, materiais e mecânica e sua interação com o meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 27 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, da construção civil com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção de baixo com baixo impacto ambiental.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões sobre temas atuais nas engenharias, de maneira aplicada as novas tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

Viviane Teleginski Mazur

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DE INFRAESTRUTURA E DEMANDA ENERGÉTICA PARA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL	
Mailson Gonçalves Morais Gian Lucas Martins Vagner Silva Guilherme DOI 10.22533/at.ed.4662030061	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
ELETRODEPOSIÇÃO DE SEMICONDUTORES PARA APLICAÇÃO EM ENERGIA RENOVÁVEL	
Victor Rocha Grecco DOI 10.22533/at.ed.4662030062	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
INVESTIGAÇÃO DAS GRANDEZAS QUE IMPACTAM NA VIDA ÚTIL DE UM TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA	
Giancarlo de França Aguiar Bárbara de Cássia Xavier Cassins Aguiar DOI 10.22533/at.ed.4662030063	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
NOVA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE DATACENTERS - O ÍNDICE EUED (ENERGY USAGE EFFECTIVENESS DESIGN)	
Alexandre Fernandes Santos Pedro Dinis Gaspar Heraldo José Lopes de Souza DOI 10.22533/at.ed.4662030064	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>58</b>
MÓDULO DE SENSORIAMENTO INERCIAL APLICADO À CAPTURA DE MOVIMENTO DA MARCHA NA PARALISIA CEREBRAL	
Lucas Novaki Ribeiro Rafael Traldi Moura DOI 10.22533/at.ed.4662030065	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>67</b>
CALCULANDO SENSORES LAMBDA, TPS E MAP COM EXATIDÃO MÁXIMA	
Robson Eduardo dos Anjos Schneider Aline Brum Loreto Eduardo Rorato Guarienti Matheus Brondani de Vargas DOI 10.22533/at.ed.4662030066	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>78</b>
CÁLCULO VIA DISCRETIZAÇÃO DE PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DE FIGURAS PLANAS	
Arthur Coutinho de Araújo Pereira Pedro Henrique Tomaz Fernandes Carlos Antônio Taurino de Lucena Ângelo Vieira Mendonça DOI 10.22533/at.ed.4662030067	



<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>95</b>
UTILIZANDO A TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER NA IDENTIFICAÇÃO DO FENÔMENO NÃO LINEAR EM SISTEMAS DINÂMICOS	
<a href="#">Marcelo Henrique Belonsi</a> <a href="#">Maria Francisca da Cunha</a> <a href="#">Manoel Moraes Junqueira</a> <b>DOI 10.22533/at.ed.4662030068</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>103</b>
DIMENSIONAMENTO DE PISTÃO MAGNETO REOLÓGICO UTILIZANDO ANÁLISE NUMÉRICA	
<a href="#">Lays Cristina Gama Lopes</a> <a href="#">Luiz Fernando Cótica</a> <a href="#">Ivair Aparecido dos Santos</a> <b>DOI 10.22533/at.ed.4662030069</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>119</b>
SINTONIA DE UM CONTROLADOR PID PARA UM SISTEMA MASSA-MOLA-AMORTECEDOR DE UM GRAU DE LIBERDADE	
<a href="#">Isabela Kimie Ota</a> <a href="#">Daniel Almeida Colombo</a> <b>DOI 10.22533/at.ed.46620300610</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>124</b>
AVALIAÇÃO DO USO DE MÓDULOS TERMOELÉTRICOS COMO DISPOSITIVO DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	
<a href="#">Marco Antonio Rodrigues de Brito</a> <a href="#">Marcus Costa de Araújo</a> <b>DOI 10.22533/at.ed.46620300611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>141</b>
VARIAÇÃO DA ALCALINIDADE DOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO COM BIODIESEL	
<a href="#">Elba Gomes dos Santos Leal</a> <a href="#">Rui Carlos de Sousa Mota</a> <a href="#">Ricardo Guilherme Kuentzer</a> <a href="#">Bento Pereira da Costa Neto</a> <a href="#">Danilo Matos Moura</a> <b>DOI 10.22533/at.ed.46620300612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>154</b>
COMPARAÇÃO DE ÍNDICES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES DO SEGMENTO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS	
<a href="#">Mauro Donizeti Berni</a> <a href="#">Paulo Cesar Manduca</a> <b>DOI 10.22533/at.ed.46620300613</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>162</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ENSAIO DE IMPACTO POR QUEDA DE PESO EM BORDA DE COMPÓSITOS	
<a href="#">João Pedro Inácio Varela</a> <a href="#">Joseph Bruno Rodrigues Almeida</a> <a href="#">Wanderley Ferreira de Amorim Júnior</a> <b>DOI 10.22533/at.ed.46620300614</b>	

**CAPÍTULO 15 ..... 176**

PRODUÇÃO DE FOTOCATALISADORES UTILIZANDO CINZAS RESIDUAIS

Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante

Aline Domingues Gomes

Lucas de Souza Borban

Jean César Marinozi Vicentini

**DOI 10.22533/at.ed.46620300615**

**CAPÍTULO 16 ..... 191**

EFEITO DA GRANULOMETRIA DA FIBRA DE COCO VERDE NA ADSORÇÃO DE COMPOSTOS PROVENIENTES DO PETRÓLEO

Isadora Barreto Coutinho

Inês Aparecida Santana

Antonia Miwa Iguti

**DOI 10.22533/at.ed.46620300616**

**CAPÍTULO 17 ..... 203**

APLICABILIDADE DE NANOCOMPÓSITOS A BASE DE NANOPARTÍCULAS DE CARBONO EM EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS

Anne Caroline da Silva Rocha

Livia Rodrigues de Menezes

Emerson Oliveira da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.46620300617**

**CAPÍTULO 18 ..... 212**

DEGRADAÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO POR  $Nb_2O_5$  SUPORTADO EM  $SiO_2$

Thais Delazare

Rodrigo da Silva Neu

Emerson Schwingel Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.46620300618**

**CAPÍTULO 19 ..... 221**

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE  $Ba_xSr_{1-x}Co_yFe_{1-y}O_{3+\Delta}$  PARA PREPARAÇÃO DE CAMADA FUNCIONAL DO ELETRODO CATÓDICO DAS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DO TIPO IT-SOFC

Mariana Lima

Everton Bonturim

Marco Andreoli

Nelson Batista de Lima

Emília Satoshi Miyamaru Seo

**DOI 10.22533/at.ed.46620300619**

**CAPÍTULO 20 ..... 231**

ESTUDO DA FIBRA DA URTIGA E DO ALGODÃO COLORIDO ORGÂNICO: DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS PARA O VESTUÁRIO POR MEIO DO CRUZAMENTO DE FIBRAS

Giulia Mendonça Tenorio de Alburquerque

Ronaldo Salvador Vasques

Fabício de Souza Fortunato

Camila Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.46620300620**

**CAPÍTULO 21 ..... 239**

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE ACESSÓRIOS VOLTADOS PARA O VESTUÁRIO UTILIZANDO COMO MATÉRIA-PRIMA O COURO DE KOMBUCHA

Caroline Schuch Klein  
Ana Beatriz Pires da Silva  
Ronaldo Salvador Vasques  
Luciane do Prado Carneiro  
Fabrício de Souza Fortunato

**DOI 10.22533/at.ed.46620300621**

**CAPÍTULO 22 ..... 247**

PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL APLICADO AO PRÉ-TRATAMENTO DA BATATA DOCE COM ÁCIDO CÍTRICO E À SECAGEM PARA AVALIAÇÃO DA COR

Tamires Barlati Vieira da Silva  
Ana Paula da Silva Sbrunhera  
Priscila Dayane de Freitas Santos  
Thaysa Fernandes Moya Moreira  
Anielle de Oliveira  
Fernanda Vitória Leimann Bogdan  
Demczuk Junior

**DOI 10.22533/at.ed.46620300622**

**CAPÍTULO 23 ..... 259**

CARACTERIZAÇÃO DE MEL E HIDROMEL ATRAVÉS DE CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA

Marcello Lima Bertuci  
Lígia Boarin Alcalde  
Sílvia Maria Martelli  
Évelin Marinho de Oliveira  
Angela Dulce Cavenaghi Altemio

**DOI 10.22533/at.ed.46620300623**

**CAPÍTULO 24 ..... 265**

ESTUDO DA PRODUÇÃO DE PRODUTOS DE EXTRATOS ALCOÓLICOS CONCENTRADOS E DE ÁLCOOL GEL A PARTIR DE DESCARTES DE BEBIDAS ALCOÓLICAS

Pierre Correa Martins  
Gabriel Alexandre Clemente  
Pedro Passador Bittencourt de Sá  
João Alves de Medeiros Neto  
Heloísa Barbosa de Oliveira  
Lara Patrício Ferreira  
Daniel Felipe Lima Soares  
Nilmara Beatriz Sousa de Oliveira  
Raquel de Medeiros Neto  
Thayze Rodrigues Bezerra Pessoa  
Joselma Araújo de Amorim  
Vital de Souza Queiróz

**DOI 10.22533/at.ed.46620300624**

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 279**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 280**

## AVALIAÇÃO DO USO DE MÓDULOS TERMOELÉTRICOS COMO DISPOSITIVO DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Data de aceite: 19/06/2020

Data de submissão: 06/03/2020

### Marco Antonio Rodrigues de Brito

Universidade Federal de Pernambuco,  
Departamento de Engenharia Mecânica

Recife – PE

<http://lattes.cnpq.br/2192954386106600>

### Marcus Costa de Araújo

Universidade Federal de Pernambuco,  
Departamento de Engenharia Mecânica

Recife – PE

<http://lattes.cnpq.br/4157405186898932>

**RESUMO:** Motores de combustão interna utilizados em veículos automotivos são conhecidos por terem uma eficiência particularmente baixa (comumente 25-30%). Entretanto alguns métodos são conhecidos por trazerem a oportunidade de aumentar tal eficiência, incluindo a recuperação de calor residual. Aqui, a modelagem termodinâmica de uma unidade de recuperação de calor foi desenvolvida para o sistema de exaustão de um motor de combustão interna automotivo bicomcombustível, com o objetivo de analisar o incremento na eficiência energética do motor. Os materiais semicondutores, utilizados nas células termoelétricas são o Yb14MnSb11 e Si80Ge20. A análise e modelagem foram

realizadas com o auxílio de programas de cálculo computacional. Cálculos para o caso mais simples, com trocadores de calor em cobre e com 45 aletas no duto de exaustão mostraram que, apesar da baixa eficiência (7,16% neste caso) apontada como principal desvantagem destes geradores, é possível obter uma fonte de energia elétrica de cerca de 1,8KW, mais alta do que outros estudos presentes na literatura. Esta alta potência se deve principalmente às altas temperaturas dos gases (1200K), já que a temperatura da fonte quente é o fator mais importante no desempenho de um gerador termoelétrico. A energia elétrica gerada poderia ser reaproveitada de diversas maneiras, como dispositivos elétricos no veículo ou sendo redirecionada para alimentar a bateria.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gases de exaustão; Gerador termoelétrico; Motor de combustão interna; Recuperação de calor residual.

EVALUATION OF THE USE OF THERMOELECTRIC MODULES AS A MEANS FOR THERMAL ENERGY RECOVERY IN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

**ABSTRACT:** Internal combustion engines used in most of the automobiles are known for having a predominantly low efficiency (usually 25-30%). However, some methods

are recognized for making it possible to increase such efficiency, including the waste heat recovery. Here, the thermodynamic modeling of a heat recovery unit was developed for the exhaust system of a car's bi-fuel internal combustion engine, for analysing the raise in the engine's energy efficiency. The semiconducting materials used in the thermoelectric cells were  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$  and  $\text{Si}_{80}\text{Ge}_{20}$ . The analysis and modeling were obtained with the aid of computational calculation software. The calculations for the simplest case, with copper heat exchangers having 45 fins in the exhaust duct showed that despite the low efficiency (7.16% in this case) usually pointed as the main disadvantage of this generators. It is possible to obtain a power source of 1.8kW, higher than other studies present on the literature. This high power happens mainly because of the higher exhaust temperatures (1200K), as the temperature of the heat source are known to be the most important factor of the performance of a thermoelectric generator. The generated power could be used in many ways, including electric equipment in the car or being redirected to power the battery.

**KEYWORDS:** Exhaust gases; Thermoelectric generator; Internal combustion engine; Waste heat recovery.

## 1 | INTRODUÇÃO

Somos hoje completamente dependentes dos meios de transporte para viver, e a grande maioria deles é alimentada com combustíveis fósseis. Karvonen et al. (2016) afirma que “80 milhões de carros são vendidos por ano atualmente, enquanto 95% destes carros funcionam a base de diesel ou outros tipos de combustíveis fósseis”. Desta forma, somos também seriamente dependentes dos combustíveis fósseis e de seus derivados.

Isso levanta uma questão ambiental preocupante: os combustíveis fósseis não são renováveis e um consumo desenfreado pode levar a uma diminuição drástica e até uma possível extinção das reservas destes minerais. Ao mesmo tempo há a questão dos gases estufa. Combustíveis fósseis são inimigos das políticas de defesa ambiental por serem responsáveis por boa parte da emissão dos gases causadores do efeito estufa, além de outros gases tóxicos.

Os motores de combustão interna são conhecidos por terem rendimento relativamente baixo comparado a outros tipos de sistemas de geração de energia. Apenas cerca de 25% da energia liberada pela combustão é realmente utilizada para fins de mobilidade e acionamento elétrico de acessórios dos automóveis em que é empregado. A maior parte das perdas deste tipo de motor se dá através do sistema de exaustão – cerca de 40% (Yang, 2005) – como pode ser visto na Figura 1.

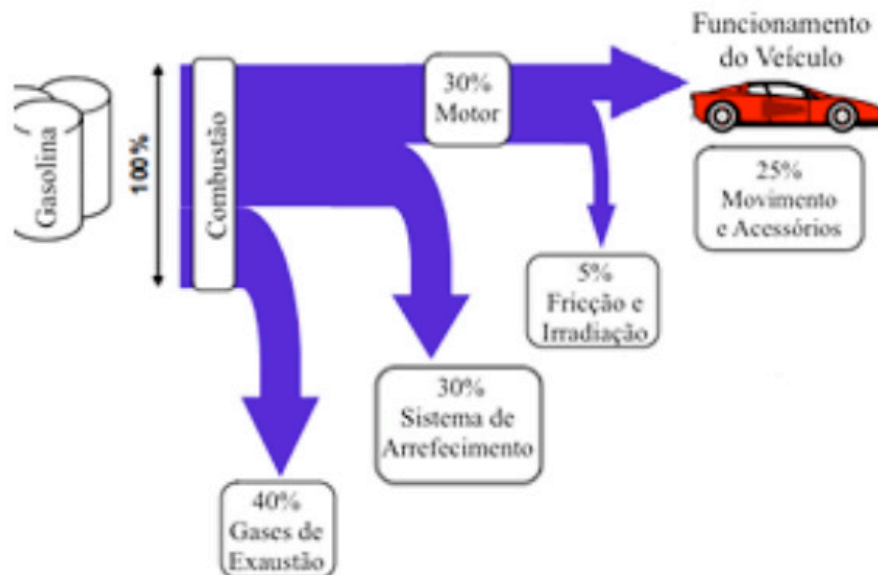


Figura 1 – Trajeto da energia em um veículo de motor de combustão interna

Fonte : (Yang, 2005).

Logo, é de suma importância que sejam desenvolvidas novas tecnologias que visem aumentar o rendimento térmico dos motores de combustão interna de automóveis, já que estes representam uma grande parcela do uso de energia da sociedade, e só no Brasil este valor representa 32,2% de todo o uso de energia no país (Empresa de Pesquisa Energética, EPE, 2016).

Um dos principais campos de pesquisa que tem este intuito é a recuperação de calor residual. Esta pode ser realizada em praticamente qualquer equipamento onde ocorre perda de energia em forma de calor e consiste em reaproveitar através de sistemas auxiliares, calor resultante de um processo químico ou de geração de energia que seria descartado para o meio-ambiente.

Um dos métodos de recuperação de calor mais promissores atualmente é o uso de geradores termoelétricos. Esta potencialidade se dá por serem de simples montagem e uso, e principalmente pelo potencial relativo à descoberta de materiais que permitam a confecção de geradores termoelétricos com eficiências cada vez maiores.

Este trabalho tem então como objetivos a modelagem e a análise de um sistema de recuperação de calor residual de exaustão para uso em motores de combustão interna veiculares utilizando geradores termoelétricos.

## 2 | RECUPERAÇÃO DE CALOR VEICULAR

A grande quantidade de energia expelida em forma de calor, na corrente de gases exauridos pelos motores de combustão, poderia ser potencialmente recuperada para incrementar a potência mecânica do motor (Saidur et al., 2012). Entre outros usos, haveria possibilidade de gerar energia elétrica auxiliar que alimentaria componentes elétricos do

automóvel.

Com um maior aproveitamento energético, obter-se-ia uma série de benefícios em relação aos motores de combustão interna. Como consequência do aumento de rendimento térmico haveria necessidade de uma quantidade menor de combustível, levando a uma diminuição de consumo e logo, da dependência de combustíveis fósseis. Consequentemente, haveria uma menor quantidade de emissões de gases poluentes (Saidur et al., 2012). Seria possível ainda ter motores menores para gerar a mesma potência, levando a uma grande redução de custos de produção.

A recuperação de calor no motor de combustão interna veicular pode ser feita em dois pontos, aproveitando calor dos gases de exaustão ou do fluido de arrefecimento do motor. O sistema de exaustão, no entanto, recebe mais atenção dos estudiosos por lidar com temperaturas mais elevadas que facilitam a troca de calor. Logo, aqui trataremos apenas deste último.

Recentemente grande atenção tem sido dada ao ramo de recuperação de calor veicular, levando a pesquisas significantes sobre várias tecnologias para este fim. Uma consideração importante dos métodos de recuperação para uso veicular é que estes devem atender a requisitos específicos para poderem ser viáveis na indústria automotiva. Eles devem ser compactos – pois não devem interferir na aerodinâmica do carro – e não podem ser muito pesados – para que os ganhos de potência não sejam sacrificados para locomover o próprio sistema de recuperação. Além disto, devem ser economicamente plausíveis de modo que a redução de custos seja maior do que os gastos com implementação. Deve-se levar em conta ainda a inconstância dos parâmetros relacionados, já que a demanda energética no motor e consequentemente o calor disponível variam com o tempo. Isso pode fazer com que o sistema saia de sua faixa de operação. É necessário então que ele seja monitorado e controlado, ou tenha uma faixa de operação bastante larga.

Das técnicas de recuperação de calor aplicáveis a motores de combustão interna veicular, as principais podem ser consideradas as seguintes: recuperação por ciclo Rankine, por geradores termoelétricos e por sistemas turbocompressores, este último já estando presente na indústria automotiva há muitas décadas (Karvonen et al., 2016).

### 3 | GERADORES TERMOELÉTRICOS

O Gerador Termoelétrico está entre as tecnologias mais promissoras para a recuperação de calor. Um dispositivo de conversão termoelétrica permite transformar diretamente um diferencial de temperatura em energia elétrica. As células são compostas por um termopar, que quando tem suas diferentes pontas expostas a temperaturas distintas, é capaz de gerar uma diferença de potencial elétrico e, logo, uma corrente elétrica (Saidur et al., 2012). O esquema de uma célula de conversão termoelétrica pode ser visto em detalhe na Figura 2.

A conversão de energia térmica para energia elétrica ocorre devido ao chamado efeito Seebeck – descoberto em 1821 pelo físico alemão Thomas Johann Seebeck – e é uma propriedade intrínseca de um material ou termopar. A energia gerada por este efeito, no

entanto, depende das propriedades dos materiais e para a maioria dos materiais é pequena ao ponto de ser irrelevante. Segundo o efeito Seebeck quando materiais condutores diferentes são unidos e suas junções expostas a diferentes temperaturas, uma diferença de potencial elétrico é gerada entre os materiais, e conseqüentemente uma corrente elétrica se o circuito for fechado. Isto é causado pois quando as juntas são aquecidas os elétrons mudam de níveis de energia de maneira diferente em cada material, causando a diferença de potencial.

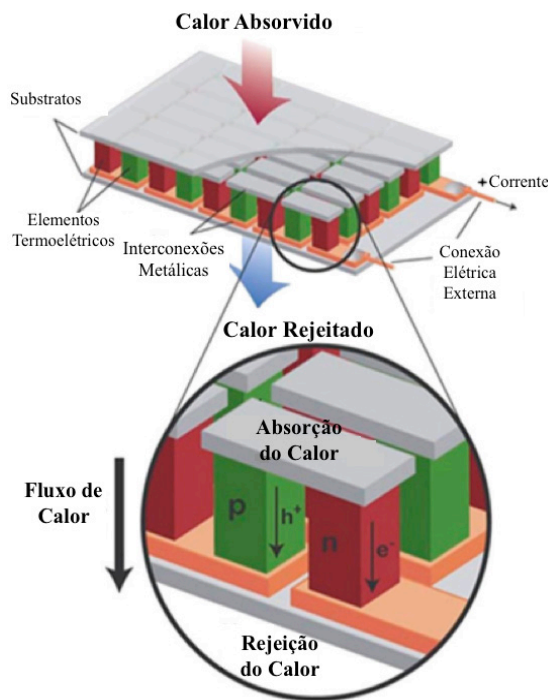


Figura 2 – Esquema básico de um gerador termoelétrico

Fonte: (Saidur et al., 2012).

O rendimento térmico de uma célula termoelétrica está diretamente ligado a uma propriedade adimensional dos materiais chamada figura de mérito. Esta é dada por:

$$ZT = S^2T/\kappa\rho \quad (1)$$

Onde S representa o coeficiente termodinâmico de Seebeck, T a temperatura absoluta,  $\kappa$  a condutividade térmica e  $\rho$  é a resistividade elétrica do material. A eficiência de um módulo construído com diferentes materiais, no entanto depende das figuras de mérito de ambos os materiais e normalmente é relacionada com a figura de mérito modificada, que é definida por Singh & Verma (2013) como:



$$Z\bar{T} = \frac{(S_{pn})^2 \bar{T}}{[(\kappa_n \rho_n)^{1/2} + (\kappa_p \rho_p)^{1/2}]^2} \quad (2)$$

Em que os índices subscritos p e n designam as propriedades para os materiais semicondutores tipo p e tipo n respectivamente,  $S_{pn} = S_p - S_n$  e  $\bar{T}$  representa a temperatura média entre os lados quente e frio do dispositivo.

Por muito tempo as figuras de mérito dos materiais conhecidos estiveram abaixo de 1, além não serem apropriados para temperaturas muito altas, fazendo com que estes geradores fossem utilizados apenas em aplicações aeroespaciais (em que a baixa eficiência é compensada pela necessidade de sistemas compactos e de simples operação). Porém, na última década vários estudos foram feitos desenvolvendo ligas de materiais semicondutores com acréscimo significativo nesta propriedade, tornando esta tecnologia pertinente para outras aplicações, o que inclui a recuperação de calor residual. Não apenas os materiais recentes têm desempenho mais alto, como várias ligas foram desenvolvidas para cobrir uma maior faixa de temperatura de operação.

Apesar de ainda terem rendimento térmico baixo (o que se torna a principal desvantagem deste método de recuperação de calor), as células termoelétricas representam uma das principais alternativas para recuperação de calor veicular. Garantindo a conversão de energia térmica de má qualidade em energia elétrica de boa qualidade de maneira simples e confiável (Saidur et al., 2012). Estes dispositivos poderiam ser utilizados para substituir o alternador – que recebe energia da rotação do motor – no carregamento da bateria e, por conseguinte na alimentação dos dispositivos eletroeletrônicos presentes nos automóveis. Logo, com seu uso haveria um benefício duplo no ganho de energia.

Entre as vantagens do uso destes aparelhos para fins veiculares pode-se apontar o fato de serem dispositivos compactos, de alta confiabilidade, de operação silenciosa e que não contém nenhuma parte mecânica complexa ou móvel como os outros métodos de recuperação de calor. Além disto, nenhuma modificação precisa ser realizada no motor pois são necessárias apenas pequenas alterações no sistema de exaustão, diminuindo consideravelmente o custo de implantação desta tecnologia em escala industrial.

### 3.1 Modelagem matemática dos geradores termoelétricos

A maioria dos modelos matemáticos existentes para geradores termoelétricos foram derivados da modelagem apresentada por Angrist (1976) que foi modificada à medida que autores da literatura a revisitavam, desejando uma abordagem mais aprofundada sobre algum aspecto de seu funcionamento (Hendricks et al., 2016). Nele, a célula termoelétrica é modelada como uma sequência de resistências térmicas existentes entre uma fonte quente e uma fonte fria. Aqui, decidiu-se utilizar a variante apresentada em LeBlanc et al. (2014). Um diagrama do modelo está representado na Figura 3. Segundo este modelo os princípios considerados no funcionamento de uma célula termoelétrica incluem o efeito Seebeck, o

efeito de condução e o efeito Joule.

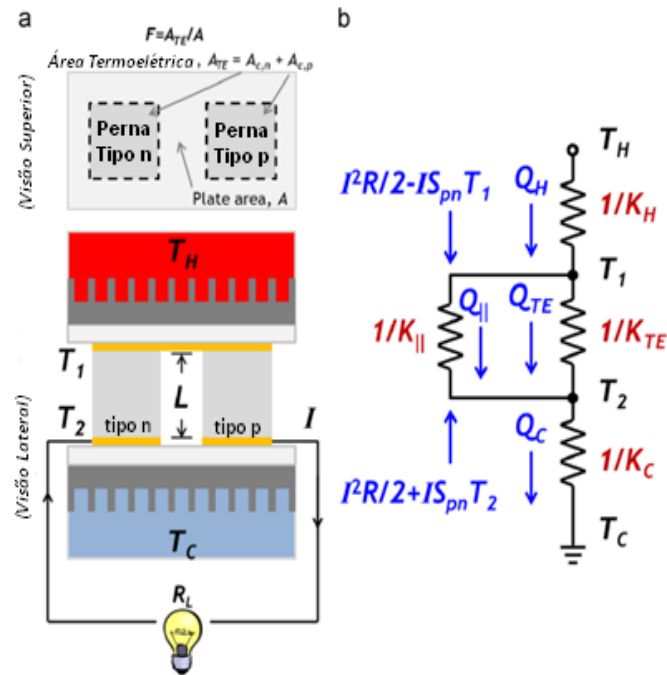


Figura 3 – (a) Esquema de um módulo termoeletrico. (b) Modelo termodinâmico equivalente com resistências térmicas.

Fonte: LeBlanc et al. (2014).

Através disto é possível calcular as taxas de fornecimento de calor ( $\dot{Q}_h$ ) e a taxa de remoção de calor ( $\dot{Q}_c$ ) do sistema. Assim, com um balanço de energia (nos pontos  $T_1$  e  $T_2$ ) obtêm-se as seguintes equações:

$$\dot{Q}_h = (K_{||} + K_{TE})(T_1 - T_2) + S_{pn}IT_1 - \frac{1}{2}I^2R \quad (3)$$

$$\dot{Q}_c = (K_{||} + K_{TE})(T_1 - T_2) + S_{pn}IT_2 + \frac{1}{2}I^2R \quad (4)$$

Neste modelo  $K_H$  representa a condutância térmica da interface com a fonte quente e  $K_C$  representa a condutância térmica da interface com a fonte fria. Estas levam em conta a condutância de todos os componentes entre os dois pontos do sistema (incluindo convecção na fonte, condução através do trocador, contato entre materiais e condução através da cerâmica utilizada como isolante elétrico na célula).  $K_{TE}$  representa a condutância dos materiais do termopar e  $K_{||}$  aparece para levar em conta a perda de calor no interior da célula para o meio. Os valores de  $K_{TE}$  e  $R$  (resistência interna do sistema) são dados respectivamente por:

$$K_{TE} = \frac{k_p A_{c,p}}{L_p} + \frac{k_n A_{c,n}}{L_n} \quad (5)$$

$$R = \frac{L_p}{k_p A_{c,p}} + \frac{L_n}{k_n A_{c,n}} \quad (6)$$

Sabendo ainda que  $\dot{Q}_h$  e  $\dot{Q}_c$  podem ser dados por:

$$\dot{Q}_h = K_H(T_H - T_1) \quad (7)$$

$$\dot{Q}_c = K_C(T_2 - T_C) \quad (8)$$

E utilizando a seguinte expressão para corrente I:

$$I = \frac{S_{pn}(T_1 - T_2)}{(m + 1)R} \quad (9)$$

Onde  $m = R_L/R$  e  $R_L$  é a resistência da carga elétrica a ser conectada ao sistema. Substituindo (7) e (8) em (3) e (4), com alguma manipulação chega-se a:

$$K_H(T_H - T_1) - (K_{\parallel} + K_{TE})(T_1 - T_2) - \frac{S_{pn}^2(T_1 - T_2)T_1}{(m + 1)R} + \frac{S_{pn}^2(T_1 - T_2)^2}{(m + 1)^2R} = 0 \quad (10)$$

$$m \frac{S_{pn}^2(T_1 - T_2)^2}{(m + 1)^2R} - K_H(T_H - T_1) + K_C(T_2 - T_C) = 0 \quad (11)$$

Que podem ser resolvidas numericamente para encontrar as temperaturas das junções  $T_1$  e  $T_2$ . Encontrados estes valores, todas as outras equações apresentadas podem ser resolvidas para encontrar  $Q_H$ ,  $Q_C$ , I além de outras variáveis, como a potência gerada pelo sistema, dada por:

$$P_{gen} = m \frac{S_{pn}^2(T_1 - T_2)^2}{(m + 1)^2R} \quad (12)$$

E a tensão elétrica gerada entre os terminais:

$$V = S_{pn}(T_1 - T_2) \quad (13)$$

Outro termo importante é a figura de mérito do módulo, uma medida da capacidade do módulo em converter energia térmica em elétrica, definida como:

$$ZT_i \equiv \frac{S_{pn}^2 T_i}{K_T R} \quad (14)$$

Onde  $i$  é o coeficiente que representa a temperatura em que a propriedade é avaliada. E por fim, a eficiência do módulo pode ser calculada:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \left( \frac{mZT_1}{ZT_m + mZT_1 + (m+1)^2} \right) \quad (15)$$

## 4 | METODOLOGIA

Este estudo visa propor um modelo de unidade recuperadora de calor para motores de combustão interna baseado em geradores termoelétricos e analisar seu desempenho. Para tal, as seguintes etapas foram necessárias:

### 4.1 Seleção da geometria do sistema

Determinado o modelo matemático dos módulos termoelétricos iniciou-se o desenvolvimento da unidade recuperadora de calor. Uma geometria para o protótipo foi selecionada. O exemplo escolhido como base foi o sugerido por Stabler (2009) e pode ser visto na Figura 4. Este modelo básico utiliza uma geometria de seção transversal retangular e o fluido de arrefecimento do motor como fonte fria. Ele contém um trocador aletado no lado quente que permite um coeficiente geral de troca de calor satisfatório em um sistema compacto adequado para implementação em veículos de passeio.

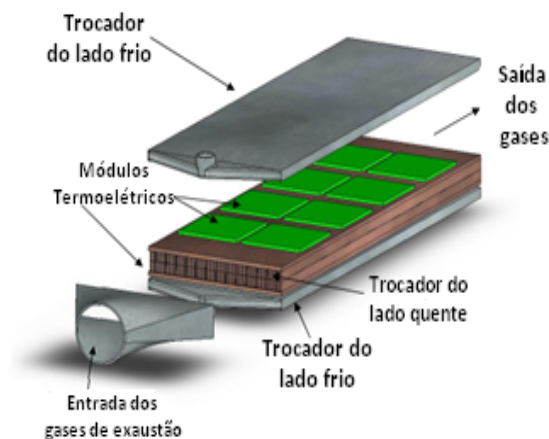


Figura 4 – Esboço da unidade em análise.

Fonte: (Stabler, 2009).

Os parâmetros geométricos utilizados aqui foram adaptados de Baker et al. (2012), que modelou um sistema semelhante. Estes podem ser vistos na Tabela 1.

Dados Geométricos do Sistema		
Trocador	Fonte Quente	Fonte Fria
Altura (cm)	3,50	1,00
Largura (cm)	30,00	30,00
Comprimento (m)	1,00	1,00
Espessura (mm)	6,35	6,35

Tabela 1 - Parâmetros dos trocadores de calor

O número de aletas escolhido foi de 45 com uma espessura de 2,5 mm.

## 4.2 Condições de contorno

Para a temperatura de entrada do fluido quente foram empregados dados de um motor em desenvolvimento, cedidos por uma montadora de veículos local. O motor é um bicomustível a ciclo Otto (Etanol e Gasolina). Foram tomados para análise os valores médios (relativos à rotação média do motor), tais dados podem ser vistos na Tabela 2. A posição selecionada no sistema de exaustão para a unidade recuperadora de calor foi imediatamente após a saída da turbina do sistema turbocompressor, já que os dados dos gases de exaustão cedidos pela montadora de automóveis supracitada são relativos a esta posição. Para análise inicial os gases foram considerados como ar (gás ideal). Os dados relativos a vazão e pressão do líquido de arrefecimento correspondente não foram cedidos e tiveram valores aproximados calculados com auxílio de Brace et al. (2001) e Power Solutions (2013) para um motor de 1.6L de cilindrada e cerca de 85kW de potência. Através da vazão obtida estimou-se um aumento percentual do sistema de arrefecimento, do tamanho do radiador e do volume total de fluido para comportar também a troca de calor na fonte fria do sistema de recuperação.

Condições de Contorno (médias)	
Rotação do Motor (RPM)	3500
Fluido de Arrefecimento no Motor (L/s)	2,8
Aumento no Sistema de Arrefecimento	14%
Parâmetros dos Gases de Exaustão	
Vazão (kg/s)	0,09
Temperatura de Entrada (K)	1192,75
Líquido de Arrefecimento	
Vazão (L/s)	0,4
Temperatura de Entrada (K)	353,15

Tabela 2 - Dados de entrada do software

É importante perceber que o sistema descrito e modelado com as equações presentes em 3.1 levam em conta apenas a metade simétrica da unidade de recuperação de calor aqui proposta. Logo, os valores nas equações tiveram de ser adequadamente corrigidos para avaliar as duas partes do sistema. A vazão mostrada na Tabela 2 para o líquido de arrefecimento percorrendo o sistema é dividida igualmente para a parte superior e a inferior de líquido frio como pode ser visto na Figura 4.

Em seguida, foi selecionado o material dos trocadores. Decidiu-se por utilizar cobre devido à sua alta condutividade térmica, baixo custo e alto ponto de fusão, necessário já que o sistema irá atuar em altas temperaturas (na faixa de 1100 a 1200 K).

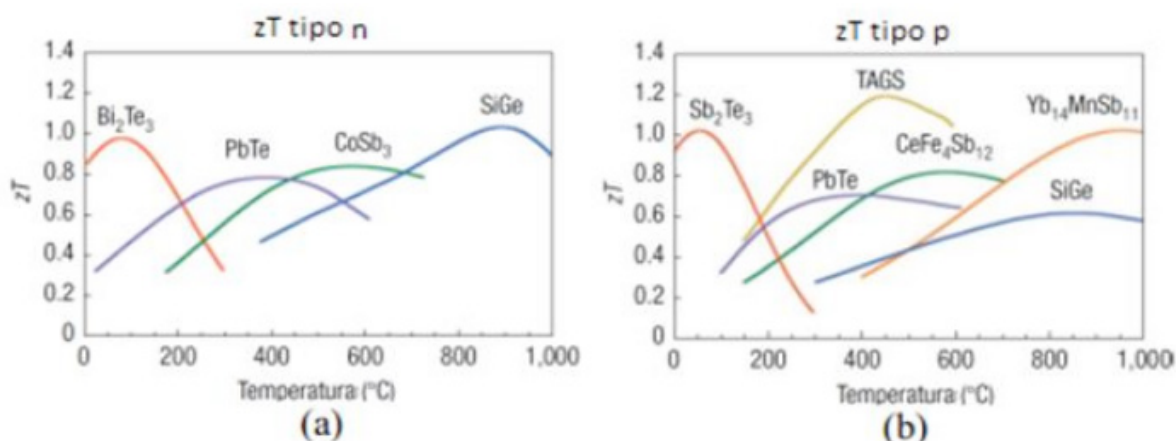


Figura 5 – Figuras de mérito de semicondutores conhecidos

Fonte: Nochetto et al. (2013).

Por fim foi feita a seleção dos materiais termoelétricos a serem empregados nas células e suas propriedades geométricas. Os materiais foram escolhidos com o intuito de obter a máxima figura de mérito na faixa de temperatura em que o sistema atuará, entretanto, utilizando materiais mais comumente encontrados no mercado para garantir assim uma maior viabilidade financeira ao projeto. Utilizando dados disponíveis em Nochetto et al. (2013), visíveis na Figura 5, optou-se por  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$  (Antimoneto de Itérbio Manganês) para o semicondutor tipo 'p' e  $\text{Si}_{80}\text{Ge}_{20}$  (uma liga de Silício-Germânio nanoprocessada) para o

semicondutor tipo 'n'. As propriedades para estes materiais foram retiradas de Zhang & Zhao (2015) e Kallel et al. (2013) respectivamente.

Os parâmetros geométricos relativos a área de contato e altura dos semicondutores foram baseados nos trabalhos de Liang et al. (2014) e Liu et al. (2015) e podem ser vistos na Tabela 3. A superfície externa dos trocadores foi preenchida com os módulos referidos totalizando 200 pares termoeletrônicos na parte superior e 200 na inferior do duto de exaustão representado na Figura 4. Para fins de comparação, uma célula como as vendidas pela Hi-Z (Empresa americana que comercializa geradores termoeletrônicos) contém de 40 a 120 módulos pn (termopares). Estes módulos são ligados eletricamente em série e termicamente em paralelo, configurando assim o sistema final. Quando várias células (compostas por vários termopares) são utilizadas para compor um sistema maior elas são também ligadas eletricamente em série e termicamente em paralelo. Logo, as propriedades dos módulos termoeletrônicos  $S$ ,  $K_{TE}$ ,  $K_{II}$  e  $R$  devem ser multiplicados pelo número de módulos  $n$ .

<b>Propriedades dos Materiais Termoeletrônicos a 1200 K</b>		
Semicondutor	Tipo 'p'	Tipo 'n'
Material	$Yb_{14}MnSb_{11}$	$Si_{80}Ge_{20}$
Altura da perna (mm)	4	4
Largura da perna (cm)	1	1
Comprimento da perna (cm)	1	1
Coeficiente de Seebeck 'S' (V/K)	1,83E-04	-2,49E-04
Condutividade Térmica 'k' (W/m-K)	7,22E-01	2,98E+00
Condutividade Elétrica ' $\sigma$ ' (S/m)	19100	33300
Figura de Mérito	1,06	0,83
<b>Propriedades por módulo (par pn)</b>		
Largura da cerâmica em módulo (cm)	3	
Comprimento da cerâmica em módulo (cm)	5	
Área da cerâmica em cada módulo (cm <sup>2</sup> )	15	
Fração de Preenchimento	0,1333	

Tabela 3 - Dados relativos aos materiais termoeletrônicos

### 4.3 Cálculo Computacional

Após a escolha de todos os parâmetros geométricos e das condições de contorno, iniciou-se a resolução das equações que compõem o modelo e a análise dos resultados, utilizando a ferramenta computacional Wolfram Mathematica. Condições semelhantes às reais foram simuladas a fim de medir o desempenho da unidade na recuperação de energia dos gases de exaustão de um motor de combustão interna.

Os valores dos parâmetros de entrada e das condições de contorno do sistema a ser modelado (Temperaturas de entrada dos fluidos de trabalho, características físicas escolhidas para o sistema, propriedades termodinâmicas dos materiais selecionados para a estrutura, propriedades termoeletrônicas dos materiais escolhidos para a confecção dos pares

de semicondutores e vazões) além das equações que regem a atividade dos geradores termoelétricos, dos escoamentos e dos trocadores de calor foram implementados no código.

O fator KII (a condutância equivalente à energia que escapa da face quente direto para a face fria, por convecção e por radiação) aqui foi considerado desprezível, supondo um sistema perfeitamente isolado. Esta aproximação é utilizada por LeBlanc et al. (2014) e pode ser considerada válida (dando uma boa aproximação dos resultados reais) garantindo-se o máximo de isolamento térmico possível para o sistema ao ser construído. Já RL aqui é considerado inicialmente igual à resistência interna do sistema tornando  $m = RL/R = 1$ , o que maximiza a potência elétrica gerada e ainda minimiza o custo do sistema (LeBlanc et al., 2014).

Os gases de exaustão são considerados como ar e o fluido de arrefecimento como água. Outras considerações feitas aqui são: os escoamentos são totalmente desenvolvidos, os dutos de escoamento são lisos (sem rugosidade), o sistema atua em regime permanente, resistências térmicas de contato entre materiais e de condução através da cerâmica das células foram consideradas desprezíveis e as temperaturas médias nas fontes fria e quente foram utilizadas para fins de troca de calor.

## 5 | RESULTADOS

Os dados esperados como resposta do programa são: a potência total gerada pelos módulos, a potência extra necessária para o bombeamento dos gases através do sistema, a potência líquida (potência gerada menos potência de bombeamento), eficiência do módulo, eficiência máxima para esta configuração dos módulos e materiais, tensão e corrente elétrica geradas. Estes dados podem então ser vistos na Tabela 4.

Encontrou-se uma satisfatória potência gerada de 1,89 KW, um pouco mais do que o dobro dos 975 W encontrados por Baker et al. (2012) para um sistema com geometria semelhante. Um valor tão alto se deve principalmente a temperatura da fonte quente que é muito mais alta neste trabalho (cerca de 1100 K em comparação com 800 K), já que como visto por Hendricks et al. (2016) a temperatura da fonte quente é um dos fatores que mais influenciam no desempenho do sistema. O coeficiente de convecção do escoamento de fluido de exaustão  $h_{\text{exh}} = 74,65 \text{ W/m}^2\text{-K}$  encontrado está muito próximo do estimado em outras pesquisas como (Baker et al., 2012) que encontrou  $70 \text{ W/m}^2\text{-K}$  para um duto retangular e Weng & Huang (2013) que encontraram  $65 \text{ W/m}^2\text{-K}$  para um duto hexagonal aletado. O coeficiente de convecção do escoamento do fluido de arrefecimento encontrado é  $h_{\text{cool}} = 1384,0 \text{ W/m}^2\text{-K}$  é também próximo ao encontrado por Baker et al. (2012) em sua análise semelhante.



Resultados		
Face do sistema	Lado Frio	Lado Quente
Temperatura de Entrada do Fluido (°C)	80	921,6
Temperatura de Saída do Fluido (°C)	95,42	664,3
Temperatura de Filme (°C)	87,62	794,7
Temperatura na Superfície do Duto (°C)	109,8	688,0
Temperatura na Face da Célula (°C)	102,9	686,9
Coeficiente de Convecção 'h' (W/m <sup>2</sup> -K)	1384,0	74,65
Fluxo de Calor 'Q' (KW)	25,1	27,0
Potência Gerada (W)	1935,4	
Potência de Bombeamento (W)	48,84	
Potência Líquida (W)	1887	
Eficiência térmica	7,16%	

Tabela 4 – Resultados da análise com o EES

É importante lembrar que esses coeficientes são valores médios considerados a temperatura média de cada escoamento, uma vez que o coeficiente local de convecção depende da temperatura que é diferente para cada posição axial dos trocadores. A alta tensão elétrica encontrada se deve ao fato de os materiais terem uma figura de mérito alta na faixa de temperatura, também à alta temperatura da fonte quente e a grande quantidade de pares termoelétricos aplicados em série. A baixa eficiência de apenas 7% encontra-se dentro do esperado já que é característico das células termoelétricas ter uma eficiência bastante baixa, entre 5 e 8% (Hatami et al., 2014).

Todos estes cálculos, entretanto, foram realizados baseados na situação de potência máxima gerada, em que  $R_L = R$ . Esta circunstância não é facilmente alcançável e pode tornar necessário o uso de sistemas condicionadores de potência. Estes acarretariam considerável custo extra podendo penalizar o projeto. Portanto é relevante analisar no sistema o efeito de uma possível discrepância entre a resistência interna e a resistência do circuito externo. Os resultados desta análise estão representados nas Figura 6 e Figura 7.

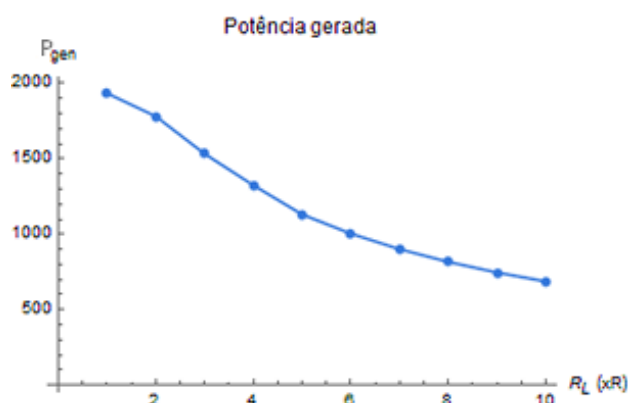


Figura 6 – Potência gerada x Resistência do circuito

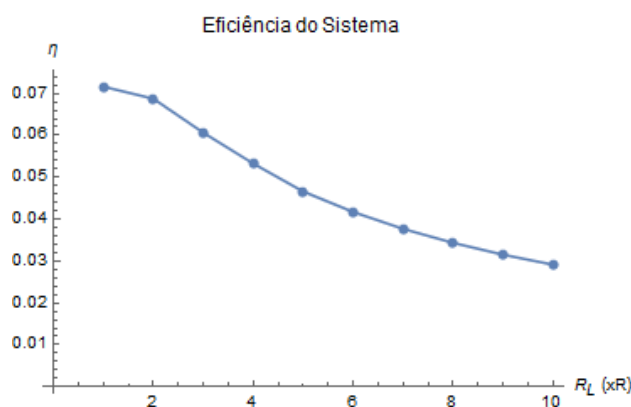


Figura 7 – Eficiência do sistema x Resistência o circuito

A eficiência do sistema também cai, mas em ritmo mais lento. Na verdade, a condição de máxima eficiência ocorre em  $m = (1+ZTm)^{1/2}$  (LeBlanc et al., 2014), o que acontece bastante próximo de  $m = 1$ , esclarecendo o comportamento da curva na Figura 7. Apesar da diminuição destes valores, a tensão elétrica não se altera nestas situações, já que como visto em (12) ela não depende da resistência elétrica do circuito externo.

É possível perceber que a potência gerada pode ainda ser satisfatória para pequenas variações da condição de máxima potência. Porém, para valores muito altos de  $R_L$  tem-se uma ampla diminuição de potência, que ocasionaria correntes elétricas muito baixas e indesejáveis para alimentar baterias e dispositivos eletrônicos.

## 6 | CONCLUSÃO

Através de uma extensa pesquisa bibliográfica e investigação do estado da arte em relação à recuperação de calor veicular e geradores termoelétricos, foi possível projetar um sistema relativamente simples e prático a ser acoplado no exaustor de um motor de combustão interna. Apesar da escolha dos dados de um motor a gasolina o sistema pode ser facilmente adaptado a um motor diesel por meio da mudança de alguns parâmetros.

Após a modelagem do sistema foi possível simulá-lo com ajuda do software *Wolfram Mathematica*, e solucionar as equações que regem seu funcionamento. Os resultados encontrados para as devidas condições de contorno foram bastante satisfatórios sendo encontrados valores mais altos de potência e tensão elétrica do que em trabalhos semelhantes na literatura.

A viabilidade econômica do sistema deve ser ainda avaliada (devido principalmente ao custo da grande quantidade de termopares) para garantir que os resultados possam ser reproduzidos em um protótipo real. Há também abertura para futuras pesquisas envolvendo a melhoria do sistema, principalmente no tocante aos trocadores de calor, que podem ser modificados em busca de uma geometria ótima.

## REFERÊNCIAS

- Angrist, S. W. (1976). **Direct energy conversion**. 3<sup>a</sup> ed. Boston: Allyn and Bacon, Inc.
- Baker, C., Vuppuluri, P., Shi, L., & Hall, M. (2012). **Model of heat exchangers for waste heat recovery from diesel engine exhaust for thermoelectric power generation**. *Journal of Electronic Materials*.**41**:1290-1297.
- Brace, C. J., Burnham-Slipper, H., Wijetunge, R. S., Vaughan, N. D., Wright, K., & Blight, D. **Integrated cooling systems for passenger vehicles**. SAE World Congress, **2001-01-1248**.
- Empresa de Pesquisa Energética, EPE. (2016). **Relatório síntese: ano base 2015**. Acedido em 5 de Maio de 2017, no Web site da Empresa de Pesquisa Energética: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben/balanco-energetico-nacional-2016> .
- Hatami, M., Ganji, D. D., & Gorji-Bandpy, M. (2014). **A review of different heat exchangers designs for increasing the diesel exhaust waste heat recovery**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.**37**:168-181.
- Hendricks, T. J., Yee, S., & LeBlanc, S. (2016). **Cost scaling of a real-world exhaust waste heat recovery thermoelectric generator: A deeper dive**. *Journal of Electronic Materials*.**45**:1751-1761.
- Kallel, A. C., Roux, G., & Martin, C. L. (2013). **Thermoelectric and mechanical properties of a hot pressed nanostructured n-type Si80Ge20 alloy**. *Materials Science and Engineering: A*.**564**:65-70.
- Karvonen, M., Kapoor, R., Uusitalo, A., & Ojanen, V. (2016). **Technology competition in the internal combustion engine waste heat recovery: A patent landscape analysis**. *Journal of Cleaner Production*.**112**:3735-3743.
- LeBlanc, S., Yee, S. K., Scullin, M. L., Dames, C., & Goodson, K. E. (2014). **Material and manufacturing cost considerations for thermoelectrics**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.**32**:313-327.
- Liang, X., Sun, X., Tian, H., Shu, G., Wang, Y., & Wang, X. (2014). **Comparison and parameter optimization of a two-stage thermoelectric generator using high temperature exhaust of internal combustion engine**. *Applied Energy*.**130**:190-199.
- Liu, X., Deng, Y. D., Li, Z., & Su, C. Q. (2015). **Performance analysis of a waste heat recovery thermoelectric generation system for automotive application**. *Energy Conversion and Management*.**90**:121-127.
- Nochetto, H., Taylor, P., & Maddux, J. R. (2013). **High temperature thermoelectric materials for waste heat regeneration**. Acedido em 15 de Maio de 2017, no Web site da: Defense Technical Information Center, Army Research Lab Adelphi MD sensors and Electron Devices Directorate: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a570989.pdf>
- Power Solutions. (2013). **1.6L Industrial Engine**. Acedido em 24 de Maio de 2017, no Web site da: Interlink Supply: [https://interlinksupply.com/prod\\_manuals/Sapphire-Blueline%20Manuals/VORTEC%201.6L%20Engine%20Manual.pdf](https://interlinksupply.com/prod_manuals/Sapphire-Blueline%20Manuals/VORTEC%201.6L%20Engine%20Manual.pdf) .
- Saidur, R., Rezaei, M., Muzammil, W. K., Hassan, M. H., Paria, S., & Hasanuzzaman, M. (2012). **Technologies to recover exhaust heat from internal combustion engines**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.**16**:5649-5659.
- Singh, J., & Verma, S. S. (2013). **A comparison of figure of merit for some common thermocouples in the high temperature range**. *Global Journal of Researches in Engineering Electrical and Electronics Engineering*.**13**:6-12.
- Stabler, F. **Automotive thermoelectric generator design issues**. Paper presented at the DOE

Weng, C., & Huang, M. (2013). **A simulation study of automotive waste heat recovery using a thermoelectric power generator.** International Journal of Thermal Sciences.71:302-309.

Yang, J. **Potential applications of thermoelectric waste heat recovery in the automotive industry.** Paper presented at the Thermoelectrics, 2005. ICT 2005. 24th International Conference On, pp. 170-174.

Zhang, X., & Zhao, L. (2015). **Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity.** Journal of Materiomics.1:92-105.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alcalinidade 141, 142, 143, 144, 148, 149, 150, 151, 152  
Análise dinâmica 95  
Análise numérica 103, 104, 114, 116, 118

### B

Biodiesel 142, 144, 147, 149, 150, 151, 152, 189

### C

Captura de movimento 10, 58, 59  
Cogeração 154, 159, 160  
Combustão interna 1, 2, 3, 68, 73, 124, 125, 126, 127, 132, 135, 138  
Controlador 119, 120, 122, 123  
Corantes 176, 179, 213, 220

### D

Demanda energética 1, 2, 4, 6, 127  
Discretização 78, 79, 80, 81, 93

### E

Eficiência energética 40, 42, 44, 45, 46, 48, 50, 55, 124, 154, 158, 159, 160  
Eletr deposição 14, 15, 16, 20, 24, 27  
Emissões de gases 127, 154  
Energias renováveis 14, 26  
Ensaio 162, 164, 165, 170, 172, 173, 195, 196, 208, 210, 269  
Equação Diferenciais 95  
Extensão da Vida Útil 28

### F

Figuras planas 78, 80, 93  
Fluido magneto reológico 103, 104, 105, 107, 109, 110, 113  
fluidos 37, 54, 103, 107, 108, 135, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153  
Fluidos 104, 108, 142, 153  
Fluido Visco Plástico 103  
Fotocatálise 176, 179, 186, 212, 213, 219

### G

Gases de exaustão 124, 127, 133, 135, 136  
Gases de Exaustão 134  
Gerador termoelétrico 124, 128  
Grandezas monitoradas 28, 34, 35

## I

IEC 61850 28, 30, 37, 38

Impacto 3

IMU 58, 59, 60

Infraestrutura 1, 2, 3, 7, 11, 12, 42, 43, 44, 45, 48, 52, 59

Injeção eletrônica 67, 68, 69, 71, 76, 77

## M

Matemática intervalar 67, 68, 70, 72, 73, 74, 75, 76

Materiais compósitos 162, 163, 170, 171, 175

Mecânica 9, 78, 94, 101, 103, 118, 124, 141, 175, 279

Método de Newmark 95, 97

Motor 2, 3, 36, 37, 58, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 98, 124, 125, 126, 127, 129, 132, 133, 135, 138

## N

Não linearidades 95, 100

## O

Óxido de cobre 14, 20, 25

Óxido de titânio 14, 20

## P

Paralisia cerebral 10, 58, 59

Perfuração 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153

Perfuração 11, 141, 153

Peso 162, 163, 164, 165, 166, 169, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 180, 266, 276, 277

PID 119, 120, 122, 123

Pistão MR 103, 110

Potência 8, 10, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 46, 50, 51, 124, 126, 127, 131, 133, 136, 137, 138, 205

Precisão 20, 46, 65, 67, 71, 73, 74

Propriedades geométricas 78, 79, 80, 81, 84, 93, 134

## S

Semicondutores 14, 15, 26, 124, 129, 134, 135, 136, 176, 179, 184, 187, 213

Sensor inercial 58

Suspensão coloidal 103

Suspensão Coloidal 103

## T

Transformadores 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39

## V

Veículo Elétrico 2, 3, 12, 13

Vibração 35, 108, 109, 119, 120, 123

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**