



Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

# As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a  
Economia e o Meio Ambiente

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
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. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E57 As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente  
[recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. –  
Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente  
a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 1)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-429-0  
DOI 10.22533/at.ed.290192506

1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos  
econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique  
Ajuz. II. Série.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

Atena  
Editora

Ano 2019

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 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 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

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 em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CIDADES SUSTENTÁVEIS: PRÁTICAS PARA A RECUPERAÇÃO DAS ÁGUAS	
Aline Pereira Gaspar Karen Niccoli Ramirez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA EM EMPREENDIMENTOS RURAIS: CAPTAÇÃO, ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO	
Natalia da Rocha Pinto Elfride Anrain Lindner	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>31</b>
PURIFICAÇÃO DE ÁGUA DOMÉSTICA UTILIZANDO PROCESSOS DE FILTRO BIOLÓGICO, FOTOCATÁLISE DE TiO <sub>2</sub> E ADIÇÃO DE MORINGA	
Maria Marcyara Silva Souza Francisco Wellington Martins da Silva Antônia Mayara dos Santos Mendes Quezia Barboza Rodrigues Juan Carlos Alvarado Alcócer	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>41</b>
DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA UTILIZANDO BOMBA DE ÁGUA COM ENERGIA MOLECULAR E TUBOS DE BOROSSILICATO	
Igor José Langer Luis Eduardo Palomino Bolivar	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E REVISÃO DAS TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA NOS CAMPOS MADUROS DA BACIA DO RECÔNCAVO	
Thaís Freitas Barbosa Victor Menezes Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925065</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>60</b>
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DE QUATRO SUB-BACIAS DE DRENAGEM DE PONTA GROSSA-PR	
Rafaela Paes de Souza Barbosa Gustavo Forastiere Simoneli Maria Magdalena Ribas Döll Mayra Alves Donato	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925066</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>73</b>
VERIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE HÍDRICA DA LAGOA COSTEIRA DE JACAREPAGUÁ NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
<a href="#">Ana Carolina Silva de Oliveira Lima</a> <a href="#">Ana Cláudia Pimentel de Oliveira</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925067</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>77</b>
POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E TOXICIDADE DE PRODUTOS COMERCIAIS À BASE DE FUMO ( <i>NICOTIANA TABACUM</i> ) UTILIZADOS EM AGRICULTURA ORGÂNICA	
<a href="#">Magda Regina Santiago</a> <a href="#">Lígia Maria Salvo</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925068</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>85</b>
CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL E GEOTÉCNICA: CARTILHA INFANTIL E O PROJETO GEOPREVENÇÃO	
<a href="#">Carla Vieira Pontes</a> <a href="#">Talita Gantus de Oliveira</a> <a href="#">Vitor Pereira Faro</a> <a href="#">Roberta Bomfim Boszczowski</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925069</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>95</b>
AVALIAÇÃO DO EFEITO DA CAMADA DE COBERTURA NA ESTABILIDADE EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	
<a href="#">Alison de Souza Norberto</a> <a href="#">Rafaella de Moura Medeiros</a> <a href="#">Maria Odete Holanda Mariano</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250610</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>104</b>
AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE (RSS) DE UM HOSPITAL MATERNIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
<a href="#">Leonardo de Lima Moura</a> <a href="#">Claudio Fernando Mahler</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>117</b>
UM ESTUDO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA USINA DE RECICLAGEM DE PAPEL PARA UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR EM MANHUAÇU	
<a href="#">Millena Gabriela Gualberto de Souza</a> <a href="#">Nandeyara de Oliveira Costa</a> <a href="#">Glaucio Luciano de Araujo</a> <a href="#">Marcela Moreira Couto</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>126</b>
BIOGÁS: O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO GÁS METANO GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS	
<a href="#">Daniela Cristiano Rufino</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250613</b>	

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>138</b>
PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO HIDROLISADO CELULÓSICO DE BIOMASSA	
Cristian Jacques Bolner de Lima	
Francieli Fernandes	
Charles Souza da Silva	
Juniele Gonçalves Amador	
Charles Nunes de Lima	
Monique Virões Barbosa dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>146</b>
PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PROPRIEDADES RURAIS DA REGIÃO DE CANOINHAS-SC	
Bruna Weinhardt da Silveira	
Leila Cardoso	
Olaf Graupmann	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250615</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>150</b>
MODELAGEM DE BIORRETORES EM SÉRIE E COM RECICLO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO INDUSTRIAL	
Guilherme Guimaraes Ascendino	
Juan Canellas Bosch Neto	
Laura de Oliveira Martins Torres	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250616</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>166</b>
O USO DO HIDROGÊNIO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	
Gustavo Destefani Picheli	
Luiz Carlos Vieira Guedes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250617</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>183</b>
ENERGIA SOLAR: PANORAMA BRASILEIRO	
Douglas Mito Cerezoli	
Leonardo Vinhaga	
Camila Ricci	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250618</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>195</b>
ECONOMIA DE ENERGIA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL – ESTUDO DE CASO NO BLOCO I DO UNIPAM	
Daniel Marcos de Lima e Silva	
Maísa de Castro Silva	
Marcelo Ferreira Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250619</b>	

<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>211</b>
USINAS SOLARES FLUTUANTES EM RESERVATÓRIOS DE HIDRELÉTRICAS: UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA AUMENTAR A DEMANDA DE GERAÇÃO DE ENERGIA NA REGIÃO NORDESTE	
<a href="#">Jéssica Beatriz Dantas</a> <a href="#">Antonio Ricardo Zaninelli do Nascimento</a> <a href="#">Thayse Farias de Barros</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250620</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>222</b>
CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES NATURAIS	
<a href="#">José Waltrudes Castanheira Pereira</a> <a href="#">Márcio Cataldi</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250621</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>238</b>
AVALIAÇÃO ANALÍTICA DAS EFICIÊNCIAS TÉRMICAS E ELÉTRICAS DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO ACOPLADO A UM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA	
<a href="#">Maxwell Sousa Costa</a> <a href="#">Anderson da Silva Rocha</a> <a href="#">Lucas Paglioni Pataro Faria</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250622</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>252</b>
ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO NAS REGIÕES NOROESTE E SUL DO ESTADO DO CEARÁ NO PERÍODO DE 2013 À 2016	
<a href="#">Amanda Souza da Silva</a> <a href="#">Rejane Félix Pereira</a> <a href="#">Umberto Sampaio Madeiro Junior</a> <a href="#">Guilherme Geremias Prata</a> <a href="#">Ivandro de Jesus Moreno de Oliveira</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250623</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>258</b>
INVESTIGAÇÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DE PAPEL RECICLADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR EM MINAS GERAIS	
<a href="#">Nandeyara de Oliveira Costa</a> <a href="#">Millena Gabriela Gualberto de Souza</a> <a href="#">Glaucio Luciano de Araújo</a> <a href="#">Marcela Moreira Couto</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250624</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>270</b>
UTILIZAÇÃO DA CINZA RESULTANTE DA INCINERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL	
<a href="#">Olaf Graupmann</a> <a href="#">Susan Hatschbach Graupmann</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250625</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>273</b>
PRODUÇÃO DE LUMINÁRIAS A PARTIR DE RESÍDUOS DE MADEIRA	
<a href="#">Ana Luiza Enders Nunes Vieira</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250626</b>	

<b>CAPÍTULO 27 .....</b>	<b>279</b>
REAPROVEITAMENTO DE MATERIAL FRESADO EM CAMADAS DE BASE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS	
<p>Marcos Túlio Fernandes  Jouséberon Miguel da Silva  Henrique Lopes Jardim  Alaor Afonso Ramos Soares  Glaucimar Lima Dutra</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250627</b>	
<b>CAPÍTULO 28 .....</b>	<b>289</b>
NOVA PROPOSTA DE ANTENA TÊXTIL COM SUBSTRATO BIODEGRADÁVEL PARA COMUNICAÇÕES SEM FIO	
<p>Matheus Emanuel Tavares Sousa  Humberto Dionísio de Andrade  Samanta Mesquita de Holanda  Idalmir de Souza Queiroz Júnior</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250628</b>	
<b>CAPÍTULO 29 .....</b>	<b>296</b>
RISCOS DE INCÊNDIO ASSOCIADOS AO USO DE LÍQUIDOS IÔNICOS EM DIFERENTES PROCESSOS	
<p>Milson dos Santos Barbosa  Isabela Nascimento Souza  Juliana Lisboa Santana  Isabelle Maria Duarte Gonzaga  Lays Carvalho de Almeida  Aline Resende Dória  Luma Mirely Souza Brandão  Débora da Silva Vilar  Priscilla Sayonara de Sousa Brandão</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250629</b>	
<b>CAPÍTULO 30 .....</b>	<b>307</b>
CENÁRIO DAS PESQUISAS SOBRE IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE IMPLANTAÇÃO OU DUPLICAÇÃO DE RODOVIAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA	
<p>Zeferino José Alencar Bezerra  Emerson Acácio Feitosa Santos  João Gomes da Costa  Thiago José Matos Rocha  Aldenir Feitosa dos Santos  Jessé Marques da Silva Júnior Pavão</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250630</b>	
<b>CAPÍTULO 31 .....</b>	<b>323</b>
A MECÂNICA DOS AGENTES IMPONDERÁVEIS: UMA PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO PARA AS DISCIPLINAS DE QUÍMICA E MECÂNICA NO ENSINO TÉCNICO	
<p>Maria Lia Scalli Fonseca  Felipe de Lucas Barbosa  José Otavio Baldinato</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250631</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>341</b>

## AVALIAÇÃO ANALÍTICA DAS EFICIÊNCIAS TÉRMICAS E ELÉTRICAS DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO ACOPLADO A UM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA

### Maxwell Sousa Costa

Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix.

Belo Horizonte - MG

### Anderson da Silva Rocha

Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix.

Belo Horizonte – MG

### Lucas Paglioni Pataro Faria

Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix.

Belo Horizonte – MG

**RESUMO:** O desenvolvimento de novas tecnologias para a utilização de fontes alternativas de geração de energia é fundamental para atender o aumento de demanda de energia elétrica. Dentre as tecnologias que vem sendo estudadas, destaca-se o PVT (do inglês *Photovoltaic Thermal*), que consiste no acoplamento de um trocador de calor à um módulo fotovoltaico com o intuito de resfriar as células do módulo, ocasionando um aumento na sua eficiência e produzindo, de forma simultânea, energia elétrica e térmica. A proposta deste trabalho é demonstrar o comportamento térmico e elétrico do PVT por meio de um modelo analítico, apresentando a relação do seu rendimento com a variação da temperatura de entrada do fluido que circulará no interior dos tubos do PVT. Os resultados obtidos demonstram que há um

ganho energético global, quando o módulo PV é acoplado ao coletor solar de placa plana.

**PALAVRAS-CHAVE:** PVT, Energia Solar, Desempenho Térmico, Cogeração.

**ABSTRACT:** The development of new technologies for the use of alternative power generation sources is fundamental to attend increasing electricity demand. Among the technologies that have been studying, there is the PVT (Photovoltaic Thermal), consisting in coupling a heat exchanger to a photovoltaic module in order to cool the module cells, that cause an increase in their efficiency and producing, simultaneously, electrical and thermal energy. The purpose of this study is to demonstrate the thermal and electrical performance of PVT through a simulated analytical model in Excel software, showing the ratio of their output with the inflow temperature variation of the fluid that circulates inside the PVT. The results demonstrate that there is an overall energy gain of around 9.0% in the production of energy when the PV module is coupled to the flat plate solar collector.

**KEYWORDS:** PVT, Solar Energy, Thermal Performance, Cogeneration.

## 1 | INTRODUÇÃO

A constante busca por mecanismos mais eficientes e competitivos para utilização de energia renovável promove o desenvolvimento e a melhoria de tecnologias. O uso da energia solar para aquecimento de água e geração de energia elétrica, também tem sido alvo de pesquisas que visam à melhoria de sistemas existentes e a criação de novos equipamentos (MOREIRA, 2009). Segundo Fernandes (2011), a energia solar é considerada ideal, no caso do Brasil, para levar energia às comunidades isoladas, distantes da rede elétrica. Souto (2009) destaca que o aproveitamento térmico da energia solar é uma das alternativas mais viáveis para substituição ou redução de chuveiros elétricos, a economia proporcionada pelos aquecedores de água é entendida como uma geração virtual de energia elétrica.

Conforme Almeida *et al.* (2015), a energia solar pode ser convertida em energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos ou módulos de geração de energia. Estes módulos são constituídos por células fotovoltaicas associadas, de acordo com cada projeto elas podem ser ligadas eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas. Unindo esses módulos é possível obter um gerador fotovoltaico, que é o principal componente para o processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica. Machado e Miranda (2015) ressaltam que a eficiência da maior parte dos módulos comerciais é de 15%.

O princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico é definido pela energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que é produzida com material semicondutor (PINHO; GALDINO, 2014).

Estudos tem mostrado que a temperatura ambiente é um fator que determina a eficiência de operação das células fotovoltaicas, e tem um papel significativo na geração de energia. O aumento da temperatura de célula provoca diminuição da tensão e elevação da corrente. Entretanto, o acréscimo na corrente é muito pequeno e insuficiente para compensar a perda de potência causada pela redução da tensão (PINHO; GALDINO, 2014).

O PVT é uma tecnologia em que o módulo fotovoltaico não é utilizado somente para conversão da radiação solar em eletricidade, mas também como um absorvedor de calor, isto é, há produção de energia elétrica e térmica simultaneamente (ZONDAG, 2005).

A estrutura do PVT consiste basicamente, de um circuito hidráulico de um coletor solar de placa plana acoplada a um módulo fotovoltaico. O módulo funcionando como uma superfície absorvedora de calor é resfriado através da circulação de um fluido, que geralmente é a água, dessa forma, há produção de energia elétrica e térmica simultaneamente (FARIA *et al.*, 2015).

Os estudos a respeito do PVT iniciaram em meados da década de 70 nos Estados Unidos. Ao longo dos anos uma grande quantidade de pesquisas tem originado o

desenvolvimento de ideias de integração do sistema fotovoltaico com o sistema térmico em um único módulo (ZONDAG, 2005). Nos estudos de Chow (2009) e Zondag (2005) há uma revisão do estado da arte do PVT dos últimos 35 anos, focando nas pesquisas e tendências do desenvolvimento dessa tecnologia.

A figura 01 representa a estrutura de um PVT.

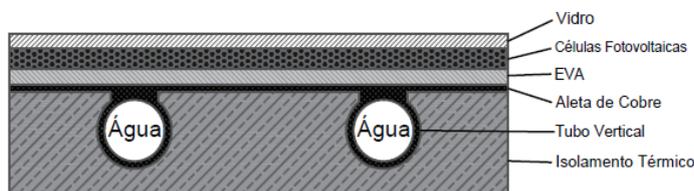


FIGURA 1. Estrutura de um PVT

Segundo (ZONDAG, 2003) o PVT apresenta algumas vantagens:

- O PVT ocupa menos espaço no telhado do que um sistema convencional fotovoltaico e um sistema convencional de coletor térmico ocupariam para produzirem energia elétrica e térmica, o que é muito útil em situações em que o telhado possui uma área reduzida.
- O PVT interfere de forma menos significativa na estética do telhado, quando comparado com a instalação separada dos dois sistemas (fotovoltaico e térmico).
- Normalmente apenas um tipo de tecnologia de aproveitamento de energia é escolhido, sendo assim é possível uma redução de custo de aquisição do sistema com a utilização do PVT.

## 2 | O MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático a ser apresentado para a avaliação do ganho energético do PVT foi baseado no modelo desenvolvido por Duffie e Beckman (2013) para coletores solares de placa plana. Com a integração da parte fotovoltaica aos coletores solares, são necessárias algumas modificações nas equações matemáticas descritas por esse modelo numérico. Faria *et al.*(2015) descrevem todas as equações com as devidas modificações, com base no fluxo de energia no interior do PVT, demonstrado na figura 02.

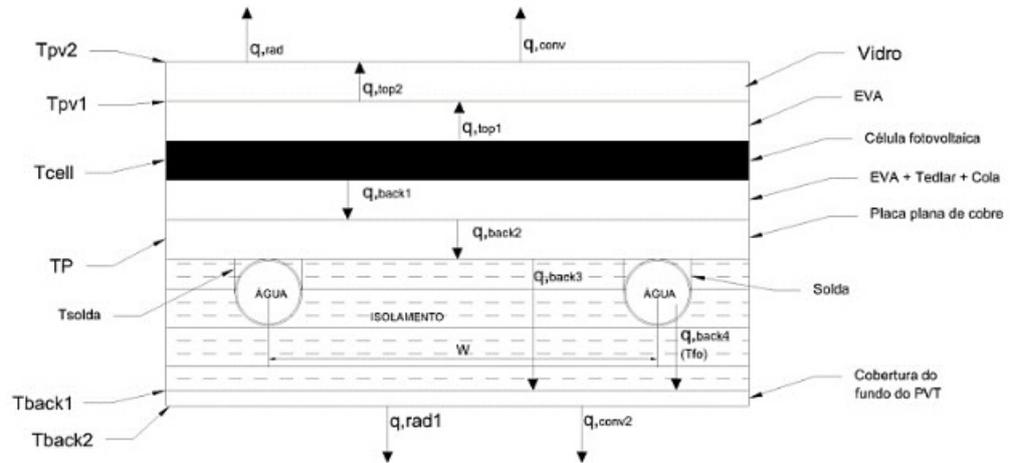


FIGURA 2. Fluxo de Energia no PVT

Fonte: (Faria *et al.*, 2015)

O modelo consiste, basicamente, no cálculo dos seguintes parâmetros:

- **Perdas de calor no topo do PVT ( $U_t$ ):**

$$q_{top} = q_{top1} + q_{top2} \quad [W/m^2] \quad (1)$$

Onde:

$q_{top1}$  é o fluxo de calor para o ambiente por condução pelo topo do PVT:

$$q_{top1} = \frac{k_{eva}(T_{cell} - T_{pv1})}{\delta_{eva}} + \frac{k_{vidro}(T_{pv1} - T_{pv2})}{\delta_{vidro}} \quad [W/m^2] \quad (2)$$

$K_{eva}$ : Condutividade térmica do EVA, Acetato de Etil Vinila, (W/m.K);

$\delta_{eva}$ : Espessura da cobertura de EVA acima da célula (m);

$T_{cell}$ : Temperatura média da célula fotovoltaica (K);

$T_{pv1}$ : Temperatura interna da cobertura de vidro do PVT (K);

$K_{vidro}$ : Condutividade térmica da camada de vidro acima da célula fotovoltaica (W/m.K);

$\delta_{vidro}$ : Espessura da cobertura de vidro do PVT (m);

$T_{pv2}$ : Temperatura externa da cobertura de vidro do PVT (K);

$q_{top2}$  é o fluxo de calor para o ambiente por convecção e radiação pelo topo do PVT:

$$q_{top2} = h_w(T_{pv2} - T_a) + h_{rad,cs}(T_{pv2} - T_s) \quad [W/m^2] \quad (3)$$

$h_w$ : Coeficiente de transferência de calor por convecção entre o vidro e a camada de ar próxima (W/m<sup>2</sup>.K);

$T_a$ : Temperatura ambiente (K);

$T_s$ : Temperatura do céu (K);  
 $h_{rad,cs}$ : Coeficiente de transferência de calor por radiação entre o vidro e o céu ( $W/m^2.K$ );

$$q_{top} = U_t(T_{cell} - T_a) \quad [W/m^2] \quad (4)$$

$U_t$ : Perdas térmicas pelo topo do PVT ( $W/m^2.K$ ).

• **Perdas de calor na base ( $U_b$ ):**

$$q_{back} = q_{back1} + q_{back2} + q_{back3} + q_{back4} \quad [W/m^2] \quad (5)$$

$q_{back}$ : fluxo de calor pelas costas ( $W/m^2$ );

onde:

$q_{back1}$  é o fluxo através da junção do EVA, tedlar e da cola:

$$q_{back1} = \frac{(T_{cell} - T_p)}{R_{back}} \quad [W/m^2] \quad (6)$$

$T_p$ : Temperatura da placa plana do coletor (K);

$R_{back}$ : Resistência térmica de condução através das costas do PVT (K);

$q_{back2}$  é o fluxo de calor através do isolante:

$$q_{back2} = \frac{k_{isol, costas}}{\delta_{isol, costas}} (T_p - T_{back1}) \quad [W/m^2] \quad (7)$$

$k_{isol, costas}$ : Condutividade térmica da camada de isolamento térmico colocado nas costas do PVT ( $W/m.K$ );

$\delta_{isol, costas}$ : Espessura da camada de isolamento térmico colocado nas costas do PVT (m);

$T_{back1}$ : Temperatura interna da camada de fechamento das costas do PVT (K).

$q_{back3}$  é o fluxo de calor através da parte de trás do PVT:

$$q_{back3} = \frac{k_2}{\delta_2} (T_{back1} - T_{back2}) \quad [W/m^2] \quad (8)$$

$k_2$ : Condutividade térmica da folha de alumínio que faz o fechamento das costas do PVT ( $W/m.K$ );

$\delta_2$ : Espessura da folha de alumínio que faz o fechamento das costas do PVT (m);

$T_{back2}$ : Temperatura externa da camada de fechamento das costas do PVT (K).

$q_{back4}$  é o fluxo de calor por convecção e radiação na parte de trás do PVT:

$$q_{back4} = h_{conv,total,back}(T_{back2} - T_a) + F_{back,ground}h_{rad,back,sup}(T_{back2} - T_{sup}) + F_{back,ceu}h_{rad,back,ceu}(T_{back2} - T_{sup}) \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (9)$$

$h_{conv,total,back}$ : Coeficiente convectivo total de troca de calor entre as costas do PVT e o ar próximo (W/m<sup>2</sup>.K);

$F_{back,ground}$ : Fator que expressa o quanto do solo é visto pelas costas do PVT (adimensional);

$h_{rad,back,sup}$ : Coeficiente de troca de calor por radiação entre as costas do PVT e o solo (W/m<sup>2</sup>.K);

$T_{sup}$ : Temperatura da superfície do solo (K);

$F_{back,ceu}$ : Fator que expressa o quanto do céu é visto pelas costas do PVT (adimensional);

$h_{rad,back,ceu}$ : Coeficiente de troca de calor por radiação entre as costas do PVT e o céu (W/m<sup>2</sup>.K).

$$q_{back} = U_b(T_{cell} - T_a) \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (10)$$

$U_b$ : Perdas térmicas na base do PVT (W/m<sup>2</sup>.K).

- **Perdas de calor pelas laterais ( $U_e$ )**

$$U_e = \frac{k_{isol,lat}}{\delta_{isol,lat}} \times \frac{A_{lat}}{A_c} \quad (W/m^2.K) \quad (11)$$

$$q_{lat} = U_e(T_{cell} - T_a) \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (12)$$

$U_e$ : Coeficiente de perdas térmicas na lateral do PVT (W/m<sup>2</sup>.K)

$k_{isol,lat}$ : Condutividade térmica do isolamento lateral do PVT (W/m.K);

$\delta_{isol,lat}$ : Espessura do isolamento lateral do PVT (m);

$A_{lat}$ : Área lateral do PVT (m<sup>2</sup>);

$A_c$ : Área superior externa do PVT, é a área por onde a radiação solar penetra no PVT (m<sup>2</sup>);

- **Perdas Totais ( $U_L$ )**

O coeficiente de perdas totais  $U_L$  será dado por:

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad \left[ \frac{W}{m^2.K} \right] \quad (13)$$

Fluxo das perdas de calor totais  $q_{total}$  do PVT:

$$q_{total} = U_L(T_{cell} - T_a) \left[ W/m^2 \right] \quad (14)$$

Fluxo de calor da placa para os tubos verticais do PVT:

(15)

$$F = \frac{\tanh \frac{m(W-D_{te})}{2}}{\frac{m(W-D_{te})}{2}} \quad (15)$$

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{\delta_{aleta} k_{aleta}}} \quad (16)$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[ \frac{1}{U_L(D_{te} + (W-D_{te})F)} + \frac{1}{h_{conv,f} \pi D_{te}} + \frac{1}{C_b} \right]} \quad (17)$$

$$W = \frac{Lh}{n} \quad [m] \quad (18)$$

$$h_{conv,f} = \frac{k_{wa} N_{u4}}{D_{te}} \quad (19)$$

F: Fator de eficiência da aleta retangular (-);

m: Varável definida para facilitar as demonstrações matemáticas do modelo de coletor plano (-);

F': Fator de eficiência do coletor (-);

$C_b$ : Condutância do material que liga o tubo a placa plana (W/mK);

W: Distância existente entre aleta e o centro dos tubos verticais do PVT (m)

n: Quantidade de tubos verticais do PVT (-);

$h_{conv,f}$ : Coeficiente convectivo de transferência de calor para o escoamento de água pelos tubos verticais do PVT (W/m<sup>2</sup>K);

$K_{wa}$ : Condutividade térmica da água dentro dos tubos verticais do PVT (W/mK);

$N_{u4}$ : Número de Nusselt para o escoamento de água dentro dos tubos verticais do PVT (-);

$D_{te}$ : Diâmetro externo dos tubos verticais do PVT (m).

Fator de remoção do Coletor e Fator de fluxo ( $F_R$ ,  $F''$ ):

$$F_R = \frac{m C_{pwa}}{A_c U_L} \left[ 1 - \exp \frac{-A_c F' U_L}{m C_{pwa}} \right] \quad (20)$$

$$F'' = \frac{F_R}{F'} \quad (21)$$

$F_R$ : Fator de remoção de calor do circuito hidráulico do PVT (-);

F': Fator de Fluxo do PVT (-);

- **Transferência total de energia**

$$Q_u = A_c (S - U_L(T_p - T_a)) \quad [W] \quad (22)$$

$$S = I_T \tau \alpha_{eff} \quad (23)$$

$$\tau \alpha_{eff} = \tau \alpha - \tau_{pv} n_{el} \quad (24)$$

Onde:

$Q_u$ : Energia transferida para água escoando pelos tubos verticais do PVT (W);

$T_p$ : Temperatura média da placa plana acoplada no módulo fotovoltaico (K);

$S$ : Energia térmica disponível para ser transferida para a água no interior dos tubos, após descontada a energia elétrica gerada ( $W/m^2$ );

$A_c$ : Área superior externa do PVT, é a área por onde a radiação solar penetra no PVT ( $m^2$ ).

$\tau \alpha_{eff}$ : Coeficiente de transmissividade-absortividade para o modelamento térmico, descontada a geração de energia elétrica pelas células fotovoltaicas (-);

$\tau \alpha$ : Coeficiente de transmissividade-absortividade do módulo fotovoltaico (-);

$n_{el}$ : Eficiência elétrica do PVT (-).

- **Eficiência Térmica ( $\eta_t$ )**

$$\eta_t = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (25)$$

$I_T$ : Radiação solar incidente que chega até a camada de vidro do PVT ( $W/m^2$ ).

- **Eficiência Elétrica ( $n_{el}$ )**

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{I_T A_c} \quad (26)$$

Onde  $P_{el}$  é a potência elétrica do PVT (W):

$$P_{el} = P_o \left( \frac{I_T}{I_{Ref}} (1 - \gamma_T (T_{cell} - T_{Ref})) \right) \quad (27)$$

$\gamma_t$ : Coeficiente de temperatura para a máxima potência do módulo fotovoltaico nas condições padrões de teste. ( $^{\circ}C^{-1}$ );

$T_{ref}$ : Temperatura de referência das células fotovoltaicas nas condições padrões

de teste, igual a 25°C.

### 3 | METODOLOGIA

Essa pesquisa foi desenvolvida com base na literatura técnica, nos resultados provenientes de outras simulações numéricas concluídas por demais autores e por meio de uma simulação analítica do modelo matemático apresentado na teoria.

O objeto desse estudo teve como enfoque um módulo fotovoltaico comercial de um determinado fabricante, denominado também nesse texto como PV. O trocador de calor utilizado para análise foi um coletor solar de placa plana (tubo-aleta), no qual foi integrado na superfície traseira do módulo PV.

Para a simulação do modelo matemático apresentado na teoria foi utilizado o *software Excel*. Todas as equações foram inseridas no programa e a partir dos dados técnicos fornecidos pelo fabricante do módulo, conforme tabela 1, e das condições de contorno, expostas pela tabela 2, elaborou-se as curvas de rendimento térmico e elétrico do PVT.

<b>Dados do Fabricante</b>	
Modelo	-
Fabricante	-
Material das Células	multi-cristalino
<b>Condições Padrão de Operação – STC</b>	
Potência Máxima	245 W
Tensão de Máxima potência (Vmp)	29,80 V
Corrente de Máxima potência (Imp)	8,23 A
Tensão de Circuito aberto (Voc)	36,90 V
Corrente de curto circuito (Isc)	8,91 A
Eficiência	14,80 %
<b>Condições Normais de Operação – NOCT</b>	
Máxima potência	175 W
Tensão de Máxima potência (Vmp)	26,80 V
Corrente de Máxima potência (Imp)	6,58 A
Tensão de Circuito aberto (Voc)	33,70 V
Corrente de curto circuito (Isc)	7,21 A
Temperatura de operação (Tnoct)	45 °C
<b>Outras Características Elétricas</b>	
Coeficiente de temperatura para a Tensão Voc	-0,36 %/°C
Coeficiente de temperatura para a Máxima potência	-0,46 %/°C
<b>Dimensões</b>	
Comprimento	1662 mm
Largura	990 mm
Espessura do conjunto	46 mm

**TABELA 1** – Informações técnicas do módulo fotovoltaicoFonte: (Faria *et al.*, 2015)

Largura	$9,90 \times 10^{-1}$ m
Comprimento	1,66 m
Área coletora	1,65 m <sup>2</sup>
Espessura total do PVT	$5,00 \times 10^{-2}$ m
Espessura do vidro	$3,00 \times 10^{-3}$ m
Espessura do EVA sobre a célula	$5,00 \times 10^{-4}$ m
Espessura do EVA abaixo da célula	$5,00 \times 10^{-4}$ m
Espessura do Tedlar	$1,00 \times 10^{-4}$ m
Espessura da cola	$5,00 \times 10^{-5}$ m
Espessura da aleta	$6,00 \times 10^{-4}$ m
Espessura do isolamento das costas	$4,50 \times 10^{-2}$ m
Espessura do isolamento lateral	$2,25 \times 10^{-2}$ m
Espessura do fechamento da parte superior	$1,00 \times 10^{-3}$ m
Condutividade do vidro	1,40 W/m K
Condutividade do EVA	$3,50 \times 10^{-1}$ W/m K
Condutividade do Tedlar	$2,00 \times 10^{-1}$ W/m K
Condutividade da cola	$8,50 \times 10^{-1}$ W/m K
Condutividade da aleta	$4,01 \times 10^2$ W/m K
Condutividade do isolamento do PVT	$4,00 \times 10^{-2}$ W/m K
Condutividade da solda	$5,00 \times 10^2$ W/m K
Afastamento entre os eixos dos tubos	$1,00 \times 10^{-1}$ m
Diâmetro dos tubos verticais	$1,00 \times 10^{-2}$ m
Número de tubos	10
Inclinação	30°

**TABELA 2** – Características Construtivas do PVTFonte: (Faria *et al.*, 2016)

*É importante ressaltar que alguns parâmetros variáveis, como as temperaturas da placa plana, da cobertura de vidro, da célula fotovoltaica, da camada de fechamento das costas do PVT, os números de Nusselt e a condutividade térmica da água dentro dos tubos verticais, não foram possíveis de calcular com o auxílio do Excel, portanto adotou-se os mesmos valores utilizados no trabalho de Faria *et al.* (2016).*

Para uma possível comparação entre a eficiência elétrica do módulo PV com a tecnologia PVT, foi calculada a temperatura de operação da célula fotovoltaica, sem a influência da parte hidráulica, para uma radiação solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, por meio da equação 28, apresentada por Zilles *et al.* (2012).

$$T_C = T_a + H_{t,\beta} \left( \frac{TNOC - 20^\circ}{800} \right) * 0,9 \quad (28)$$

Onde:

$T_c$ : Temperatura da célula fotovoltaica ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_a$ : Temperatura ambiente medida ( $^{\circ}\text{C}$ ), adotou-se  $25^{\circ}\text{C}$ ;

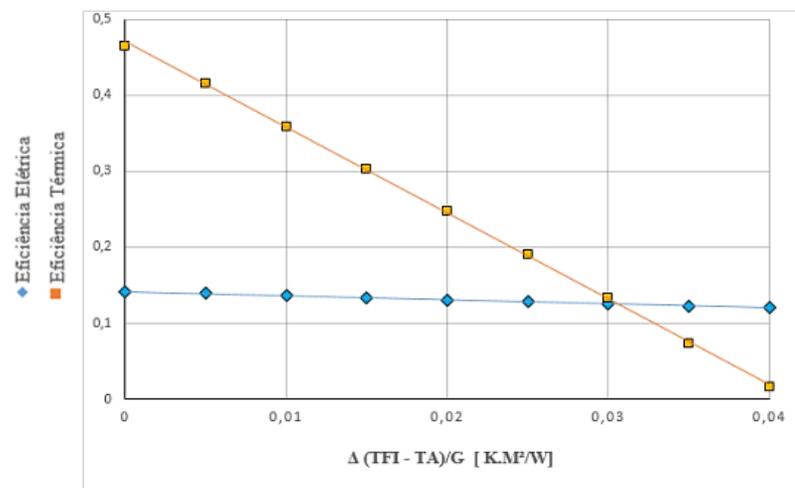
$H_{t,\beta}$ : Irradiância no plano do gerador ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

TNOC: Temperatura nominal de operação da célula ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A partir do resultado da equação 28, calculou-se a máxima potência elétrica suprida pelo gerador fotovoltaico, equação 27, e posteriormente a sua eficiência elétrica, através da equação 26. De posse da eficiência elétrica do módulo PV e dos resultados simulados do modelo analítico, viabilizou-se uma comparação entre o PV e o PVT.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O gráfico da Figura 3 apresenta as curvas linearizadas do desempenho térmico e elétrico do PVT para as condições de radiação solar ( $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ ) e temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ).



**FIGURA 3.** Gráfico da eficiência térmica e elétrica do PVT

Variando a temperatura de entrada da água que circula no PVT, observa-se que a curva da eficiência térmica apresenta uma maior inclinação, demonstrando que esta é mais sensível com a mudança de temperatura do que a curva da eficiência elétrica.

A Tabela 3 foi utilizada para gerar o gráfico da figura 03, e permite uma melhor visualização da influência da temperatura de entrada da água nas eficiências térmica e elétrica do PVT.

$T_{fi}$ (K)	$\frac{T_{fi} - T_a}{G}$ (K.m <sup>2</sup> /W)	$P_{el}$ (W)	$\eta_{elétrica}$	$\eta_{térmica}$
298,200	0,000	233,279	0,141	0,464
303,200	0,005	229,289	0,139	0,416
308,200	0,010	224,601	0,136	0,358
313,200	0,015	220,319	0,134	0,303
318,200	0,020	215,923	0,131	0,247
323,200	0,025	211,641	0,128	0,190
328,200	0,030	207,358	0,126	0,133
333,200	0,035	202,963	0,123	0,074
338,200	0,040	198,793	0,120	0,016

**TABELA 3** – Desempenho elétrico e térmico do PVT

Os valores da temperatura de entrada da água utilizados na simulação foram definidos com base na temperatura normal de operação do módulo, que de acordo com as especificações do fabricante é de 45°C, sendo assim o intervalo escolhido compreende valores menores e maiores que 45°C (318,2 K).

*É possível observar que quanto maior a temperatura de entrada da água menor será o rendimento térmico e elétrico do PVT. A circulação da água no módulo fotovoltaico, na condição padrão de operação – STC - permite o módulo operar com fornecimento de potência elétrica de aproximadamente 198W no pior dos casos analisados, onde a temperatura da água é de 65°C. Essa potência, inclusive, é ainda maior que a potência fornecida nas especificações do fabricante do módulo fotovoltaico em estudo, nas condições normais de teste operacional – NOCT – que é de 175W com a célula a 45°C.*

Faria *et al.* (2015) fazem essa relação da temperatura de entrada da água que circula no PVT com as suas eficiências elétricas e térmicas, relatando que o PVT operaria com uma boa eficiência térmica, gerando mais energia elétrica, quando a temperatura da água do reservatório for inferior à temperatura do módulo fotovoltaico e próximo a temperatura ambiente.

Considerando as mesmas condições de radiação solar e temperatura ambiente utilizadas nas simulações do PVT, a temperatura de operação do módulo fotovoltaico, sem o acoplamento do trocador de calor, atingiria o valor de 53°C e o módulo teria uma eficiência elétrica de 12,93%, produzindo uma potência de 213,3 W. Com a integração do circuito hidráulico do coletor solar, o PVT chegaria a produzir 233,3W, ou seja, 9,3% a mais de produção de energia global, com temperatura de entrada da água a 25°C e a temperatura da célula a 35,6°C.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simulação apresentada neste trabalho permitiu observar o comportamento

térmico e elétrico do PVT diante da variação da temperatura de entrada da água nos tubos verticais, a uma radiação solar constante. Os resultados demonstram que há uma vantagem em acoplar o coletor solar de placa plana no painel fotovoltaico a fim de arrefecer o módulo PV para aumento da sua eficiência elétrica. Contudo tal situação só ocorre quando a temperatura da água que entra no PVT for menor que a temperatura das células fotovoltaicas. Portanto a necessidade de controlar a entrada de água é fundamental para que não seja provocado um efeito reverso ao proposto pela tecnologia PVT.

*É notável também que o PVT seja uma solução proveitosa para os locais que dispõem de pequenas áreas e que necessitam da energia elétrica e térmica, pois ele permite a cogeração de ambas as formas de energia ocupando o mesmo espaço.*

Por fim, torna-se importante a realização de pesquisas experimentais do modelo do PVT aqui demonstrado, para futuras comparações dos resultados práticos com o modelo teórico estudado, de forma que possíveis modificações sejam realizadas para que essa tecnologia seja difundida no mercado a custos acessíveis ao consumidor.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E.; ROSA, A. C.; DIAS, F. C. L. S.; BRAZ, K. T. M.; LANA, L. T. C.; SANTOS, O. C. E.; SACRAMENTO, T. C. B. Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica. **Engenharias Online**, Universidade FUMEC, Belo Horizonte, v.1, n. 2, p. 21-33, 2015.
- CHOW, T. T. A Review on Photovoltaic Thermal Solar Hybrid Solar Technology. **Applied Energy**, Hong Kong, China, n. 87, p. 365-379, jul. 2009.
- DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2013. 910p.
- FARIA, L. P. P.; FERREIRA, A. G.; PEREIRA, E. M.; PROCÓPIO, O. L.; CALDEIRA, P.; MÁSSIMO, R.; DANIEL, A. C.; PORTO, M. A. D.; CORGOZINHO, I. M.; BARBOSA, J. M. C. Otimização da Eficiência Elétrica de Módulos Fotovoltaicos Através do Acoplamento de Trocadores de Calor Tipo Tubo-Aleta. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 8., 2015, Costa do Sauípe. **Anais...**Costa do Sauípe: ANEEL, 2015.
- FARIA, L. P. P.; FERREIRA, A. G.; PEREIRA, E. M.; PROCÓPIO, O. L.; CALDEIRA, P.; MÁSSIMO, R.; DANIEL, A. C.; PORTO, M. A. D.; CORGOZINHO, I. M.; BARBOSA, J. M. C.; SILVEIRA, R.A.; OLIVEIRA, L. G. M. Análise do Desempenho Térmico e Elétrico de um Módulo Fotovoltaico Acoplado a um Coletor Solar Plano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 5., 2016, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABENS, 2016.
- FERNANDES, D. **ONU diz que Brasil Subproveita seu Potencial em Energias Renováveis**. 2011. Disponível em: <[http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/11/111129\\_energia\\_limpa\\_unctad\\_df](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/11/111129_energia_limpa_unctad_df)>. Acesso em: 20 maio 2016.
- MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v.7, n.1, p.126-143, 2015. Disponível em <<http://www.uff.br/rvq>>. Acesso em: 20 mar. 2016.
- MOREIRA, M. F. Z. **Análise Térmica de um Coletor Solar Composto de Cavidades V para Aquecimento de Água**. 2009. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

OLIVEIRA, P. H. M.; AGUIAR, E. S.; BASTOS, L. E. G. Análise Teórico-Experimental de um Coletor Híbrido Térmico-Fotovoltaico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS, 9., 2002, Caxambu. **Anais...** Caxambu: Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 2002, ref. 2-646.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. CEPEL, CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

SOUTO, W. A. **Desenvolvimento de um Sistema Automatizado de Levantamento de Desempenho de Coletor Solar Plano**. 2009. 46f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistema Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo, SP, 2012.

ZONDAG, H.A. Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, n 12, p. 891-959, dec. 2005.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-429-0

