



# Energia Solar e Eólica

Paulo Jayme Pereira Abdala  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora

Ano 2019

**Paulo Jayme Pereira Abdala**  
(Organizador)

# Energia Solar e Eólica

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
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  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

E56 Energia solar e eólica [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-066-7

DOI 10.22533/at.ed.667192201

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia eólica. 3. Energia solar. I. Abdala, Paulo Jayme Pereira.

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

2019

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.

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

## APRESENTAÇÃO

As chamadas energias renováveis, também conhecidas como energias alternativas ou ainda energias limpas são três denominações possíveis para qualquer forma de energia obtida por meio de fontes renováveis, e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. Atualmente, com a grande preocupação mundial em compensar as emissões de CO<sub>2</sub>, o consumo deste tipo de energia tem sido o foco de governos e empresas em todo globo.

Neste sentido, o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, onde predomina o uso de hidrelétricas, apesar do crescimento do uso de termelétricas, as quais são abastecidas por combustível fóssil. No Brasil, o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO<sub>2</sub>, ficando atrás somente do setor agrícola que reapresenta a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro e, por este motivo tem recebido maior atenção e também mais investimentos. A radiação solar gratuita fornecida pelo sol pode ser captada por placas fotovoltaicas e ser posteriormente convertida em energia elétrica. Esses painéis usualmente estão localizados em construções, como indústrias e casas, o que proporciona impactos ambientais mínimos. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar os consumidores com a redução na conta de energia elétrica reduzem as emissões de CO<sub>2</sub>.

Com relação à energia eólica, o Brasil faz parte do grupo dos dez países mais importantes do mundo para investimentos no setor. As emissões de CO<sub>2</sub> requeridas para operar esta fonte de energia alternativa são extremamente baixas e é uma opção atrativa para o país não ser dependente apenas das hidrelétricas. Os investimentos em parques eólicos vem se tornando uma ótima opção para neutralização de carbono emitidos por empresas, indústrias e etc.

Neste contexto, este EBOOK apresenta uma importante contribuição no sentido de atualizar os profissionais que trabalham no setor energético com informações extremamente relevantes. Ele está dividido em dois volumes contendo artigos práticos e teóricos importantes para quem deseja informações sobre o estado da arte acerca do assunto.

Paulo Jayme Pereira Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>10</b>
UMA REVISÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS ATUAIS	
Alexandre José Bühler Ivan Jorge Gabe Fernando Hoefling dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>26</b>
VALIDAÇÃO DE MODELOS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
Bruna de Oliveira Busson Pedro Henrique Fonteles Dias Ivonne Montero Dupont Pedro Hassan Martins Campos Paulo Cesar Marques de Carvalho Edylla Andressa Queiroz Barroso	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>41</b>
A GERAÇÃO SOLAR DE CALOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE GESSO BETA DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE	
André Vitor de Albuquerque Santos Kenia Carvalho Mendes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>58</b>
A UTILIZAÇÃO DO SILÍCIO NACIONAL PARA A FABRICAÇÃO DE PLACAS SOLARES: UMA REFLEXÃO DAS DIFICULDADES TECNOLÓGICA E FINANCEIRA	
Felipe Souza Davies Gustavo Luiz Frisso Matheus Vinícius Brandão	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>72</b>
AEROPORTO DE VITÓRIA/ES: ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
Ana Luiza Guimarães Valory Sidney Schaeffer Warley Teixeira Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>87</b>
ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO E POLICRISTALINO	
Suellen Caroline Silva Costa Janaína de Oliveira Castro Silva Cristiana Brasil Maia Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922016</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>1043</b>
ANÁLISE HARMÔNICA NOS INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Alessandro Bogila Joel Rocha Pinto Thales Prini Franchi Thiago Prini Franchi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922017</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>120</b>
ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO MODELO DE UMA ÁRVORE NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	
Bárbara de Luca De Franciscis Gouveia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922018</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>139</b>
ANÁLISE FINANCEIRA DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA FINANCIADOS EM PALMAS - TO	
Brunno Henrique Brito Maria Lúcia Feitosa Gomes de Melo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922019</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>152</b>
APLICAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA CIDADE DE CRUZ ALTA/RS: ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO E POTENCIAL DE ENERGIA GERADA	
Alessandra Haas Franciele Rohr Ísis Portolan dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220110</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>165</b>
APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT) EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Augusto Hafemeister João Batista Dias Leonel Augusto Calliari Poltosi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220111</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>181</b>
AR CONDICIONADO SOLAR – CICLO DE ADSORÇÃO	
Rafael de Oliveira Barreto Pollyanne de Oliveira Carvalho Malaquias Matheus de Mendonça Herzog Luciana Carvalho Penha Lucio Cesar de Souza Mesquita Elizabeth Marques Duarte Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220112</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>194</b>
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COLETOR SOLAR PLANO ACOPLADO EM SECADOR HÍBRIDO	
Raphaela Soares da Silva Camelo	

Ícaro da Silva Misquita  
Thais Andrade de Paula Lovisi  
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira  
Juliana Lobo Paes  
Camila Lucas Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.66719220113**

**CAPÍTULO 14 ..... 212**

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE NOVO PROTÓTIPO DE FOTOBIORREATOR NÃO TRANSPARENTE PARA CULTIVO DE MICROALGAS COM ILUMINAÇÃO INTERNA ATRAVÉS DE POFS QUE RECEBEM A LUZ DE LENTES MONTADAS EM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR

Gisel Chenard Díaz  
Yordanka Reyes Cruz  
Rene Gonzalez Carliz  
Fabio Toshio Dino  
Maurílio Novais da Paixão  
Donato A. Gomes Aranda  
Marina Galindo Chenard

**DOI 10.22533/at.ed.66719220114**

**CAPÍTULO 15 ..... 225**

AVALIAÇÃO DE WEBSITES BRASILEIROS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: PARÂMETROS DE ENTRADA E RESULTADOS

Marina Calcagnotto Mascarello  
Letícia Jenisch Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.66719220115**

**CAPÍTULO 16 ..... 241**

AVALIAÇÕES DE CUSTO E DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TIPO SIGFI COM DIFERENTES PERÍODOS DE AUTONOMIA

Marta Maria de Almeida Olivieri  
Leonardo dos Santos Reis Vieira  
Marco Antonio Galdino  
Márcia da Rocha Ramos

**DOI 10.22533/at.ed.66719220116**

**CAPÍTULO 17 ..... 257**

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO CONSIDERANDO O EFEITO DA ESTEIRA AERODINÂMICA DE TURBINAS ATRAVÉS DO MODELO DO DISCO ATUADOR

Luiz Fernando Pezzi  
Adriane Prisco Petry

**DOI 10.22533/at.ed.66719220117**

**CAPÍTULO 18 ..... 272**

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO - ESTUDO DE CASO EM CURITIBA

Danilo Carvalho de Gouveia  
Jeanne Moro  
Muza Iwanow  
Rebecca Avença  
Jair Urbanetz Junior

**DOI 10.22533/at.ed.66719220118**

<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>284</b>
DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIES SUPERHIDROFÓBICAS COM EFEITO AUTOLIMPANTE PARA APLICAÇÕES EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Lucélio Oliveira Lemos	
Magnum Augusto Moraes Lopes de Jesus	
Aline Geice Vitor Silva	
Angela de Mello Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220119</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>297</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Stéphane Rodrigues da Silva	
Érica Tiemi Anabuki	
Luis Cláudio Gambôa Lopes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220120</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>312</b>
DO PETRÓLEO À ENERGIA FOTOVOLTAICA: A INSERÇÃO DO BRASIL NESTE NOVO MERCADO	
Emilia Ribeiro Gobbo	
Maria Antonia Tavares Fernandes da Silva	
Rosemarie Bröker Bone	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220121</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>330</b>
EFEITO DO SOMBREAMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
José Rafael Cápua Proveti	
Daniel José Custódio Coura	
Carlos Roberto Coutinho	
Adriano Fazolo Nardoto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220122</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>342</b>
ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA E DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO AO COMPLEXO AQUÁTICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	
Helena Flávia Napolini	
Gustavo Xavier de Andrade Pinto	
Julio Boing Neto	
Ricardo Rütther	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220123</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>354</b>
ESTUDO DA SECAGEM INTERMITENTE DA MANGA UTILIZANDO SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Camila Lucas Guimarães	
Juliana Lobo Paes	
Raphaela Soares da Silva Camelo	
Madelon Rodrigues Sá Braz	
Ícaro da Silva Misquita	
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220124</b>	



<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>367</b>
ANÁLISE PRÉVIA DO VALOR DA DEPENDÊNCIA DO SOLO PARA AS ATIVIDADES AGRÍCOLAS COM A POSSÍVEL IMPLANTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO DA SERRA, EM SÃO FRANCISCO DE PAULA, RS	
Antonio Robson Oliveira da Rosa Leonardo Beroldt Rafael Haag	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220125</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>379</b>
APLICAÇÃO DE UM DVR EM AEROGERADORES SCIG E DFIG PARA AUMENTO DE SUORTABILIDADE FRENTE A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	
Edmar Ferreira Cota Renato Amorim Torres Victor Flores Mendes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220126</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>398</b>
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE UMA REGIÃO COM TOPOGRAFIA COMPLEXA UTILIZANDO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL	
William Corrêa Radünz Alexandre Vagtinski de Paula Adriane Prisco Petry	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220127</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>410</b>
EDIFICAÇÃO DE ENERGIA POSITIVA: ANÁLISE DE GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR EM CURITIBA	
Larissa Barbosa Krasnhak Elis Almeida Medeiros de Mello Jair Urbanetz Junior Eloy Casagrande Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220128</b>	
<b>CAPÍTULO 29</b> .....	<b>422</b>
ESTAÇÃO METEOROLÓGICA WIFI DE BAIXO CUSTO BASEADO EM THINGSPEAK	
Renan Tavares Figueiredo Odélsia Leonor Sanchez de Alsina Diego Lopes Coriolano Eurípes Lopes de Almeida Neto Ladjane Coelho dos Santos Iraí Tadeu Ferreira de Resende Ana Claudia de Melo Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220129</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>431</b>

# VALIDAÇÃO DE MODELOS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

### **Bruna de Oliveira Busson**

Universidade Federal do Ceará, Departamento de  
Engenharia Mecânica  
Fortaleza- Ceará

### **Pedro Henrique Fonteles Dias**

Universidade Federal do Ceará, Departamento de  
Engenharia Mecânica  
Fortaleza- Ceará

### **Ivonne Montero Dupont**

Universidade Federal do Ceará, Departamento de  
Engenharia Elétrica  
Fortaleza- Ceará

### **Pedro Hassan Martins Campos**

Universidade Federal do Ceará, Departamento de  
Engenharia Elétrica  
Fortaleza- Ceará

### **Paulo Cesar Marques de Carvalho**

Universidade Federal do Ceará, Departamento de  
Engenharia Elétrica  
Fortaleza- Ceará

### **Edylla Andressa Queiroz Barroso**

Universidade Federal do Ceará, Departamento de  
Engenharia Elétrica  
Fortaleza- Ceará

**RESUMO:** A temperatura de operação dos módulos fotovoltaicos (FV) compromete o desempenho, pois quanto maior esta temperatura menor a tensão de circuito aberto e

menor a potência máxima da célula. O objetivo do presente artigo é avaliar a adequação das equações desenvolvidas por Duffie e Beckman (2013), Ross (1976) e Chenni et al. (2007) para descrever o comportamento térmico de células FV nas condições climáticas do semiárido brasileiro. Os parâmetros utilizados nas três metodologias são captados pelo sistema de aquisição de dados (Sistema de Monitoramento Online - REMS) que realiza medições por meio de sensores a cada minuto. Os gráficos são construídos com base nas medições feitas e nas equações propostas, para as quinzenas de Agosto e Setembro de 2017. A visualização das curvas de temperatura de operação do painel FV mostram uma diferença acentuada entre a temperatura de operação real e a estimada pelos métodos em estudo, principalmente, nos horários de maior incidência de irradiação e temperatura ambiente entre 10:00 e 14:00 horas. Dentro da limitação de nossos resultados e para este caso, apesar de nenhum dos três métodos analisados ser adequado para a o diagnóstico da temperatura, percebe-se que o comportamento térmico é melhor descrito por Duffie e Beckman (2013). Este método apresenta menor diferença média (aproximadamente 13%) e menor erro máximo em Agosto (9,2°C) entre as temperaturas de operação estimada e medida dentre as metodologias investigadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia solar fotovoltaica, Comportamento térmico, Temperatura de operação.

**ABSTRACT:** The operating temperature of photovoltaic modules (PV) influences the performance, because as temperature increases, the open circuit voltage and theoretical maximum power decreases. The main goal of the present article is evaluating the adequacy of equations developed for Duffie and Beckman (2013), Ross (1976) and Chenni et al. (2007) to describe thermal behavior of PV cells in Brazilian semiarid region's climatic conditions. The parameters utilized in those methodology are obtained for data acquisition system (Online Monitoring System - REMS) which acquires sensors measured data every minute. The graphs are built based on measurements and proposed equations, in two weeks of August and September 2017. The curves visualization of PV cells operating temperature show a large variation between real and estimated operating temperature by methods analyzed, mainly, in hours of large irradiation incidence and ambient temperature between 10:00 a.m. and 2:00 p.m. Within the limitation of our results and for this case, although any method analyzed be appropriated to temperature analysis, the thermal behavior is better described for Duffie and Beckman (2013). This method shows smaller average variation (approximately 13%) and smaller maximum error in August (9,2 °C) between estimated and measured operating temperatures given by investigated methodologies.

**KEYWORDS:** Photovoltaic solar energy, Thermal behavior, Operating temperature

## 1 | INTRODUÇÃO

O artigo será publicado como Apesar das diferenças climáticas e ambientais do território brasileiro, a irradiação solar global é razoavelmente uniforme, apresentando um valor máximo diário de 7 kWh/m<sup>2</sup> no clima semiárido da região Nordeste, onde há a menor média anual de cobertura de nuvens do país (Martins *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2006), apresentando grande potencial produtivo de geração fotovoltaica (FV). A fonte solar tem grandes possibilidades de crescimento no mercado de energia elétrica, principalmente, após o advento da Resolução Normativa N° 482/2012 alterada pela N° 687/2015 que estabelece as condições gerais para uso de micro e minigeração distribuída (ANEEL, 2012). Porém, o conjunto de critérios para medições, cálculo e operação do sistema de compensação limita o uso dos créditos gerados (Pinto *et al.*, 2016). Contudo, as altas temperaturas que as placas FV podem alcançar, muito por influência da temperatura ambiente, que no Nordeste tem uma média elevada, podem comprometer o desempenho desta geração.

A temperatura de operação de módulos FV é um dos parâmetros mais importantes na avaliação da performance a longo prazo de um painel (Jackrani *et al.*, 2011). Os típicos valores máximos de eficiência são alcançados entre 14% e 17% no caso de

células solares de silício monocristalino (Popovici *et al.*, 2015). A temperatura de operação é determinada por um balanço de energia, em que a energia solar absorvida é convertida em energia elétrica e energia térmica que deve ser dissipada por uma combinação de mecanismos de transferência de calor (Pinho e Galdino, 2014). Para maximizar a saída elétrica, o módulo FV deve estar em temperaturas de operação mais baixas sob certas condições de irradiação solar incidente, temperatura do ambiente e velocidade do vento (Tripanagnostopoulos, 2002). Acima de 25°C, cada grau de elevação na temperatura reduz a eficiência, em média, 0,45% (Popovici *et al.*, 2015).

O aumento da irradiância incidente e/ou da temperatura ambiente produz um aumento na temperatura da célula. Consequentemente, a curva de potência é deslocada para a esquerda (Pinho e Galdino, 2014; Duffie e Beckman, 2013). A relação entre a potência máxima e a tensão de saída é avaliada mantendo-se a irradiância solar e a temperatura do módulo constantes. Se um dos fatores muda, todas as outras características mudam. Em suma, a potência máxima da célula diminui com o aumento da temperatura (Moharram *et al.*, 2013).

A avaliação da operação e do design de sistemas FV deve ser baseada na relação tensão-corrente das células sob vários níveis de irradiação e temperatura da célula (Duffie e Beckman, 2013). As células FV operam em algum ponto da Curva I-V (ou curva característica), que mostra a relação da corrente em função da tensão no dispositivo (Duffie e Beckman, 2013; Pinho e Galdino, 2014). A corrente elétrica em uma célula fotovoltaica pode ser considerada como a soma da corrente de diodo semicondutor com a corrente resultante da absorção de fótons. A corrente resultante em função da tensão no dispositivo é derivada da Equação de Shockley que pode ser visualizada na curva I-V (Pinho e Galdino, 2014). O efeito da temperatura na característica I-V da carga de um módulo pode ser visualizado na Fig. 1, em que o aumento da temperatura conduz à redução da tensão de circuito-aberto e leve aumento da corrente de curto-circuito (Duffie e Beckman, 2013), para um mesmo nível de irradiância.

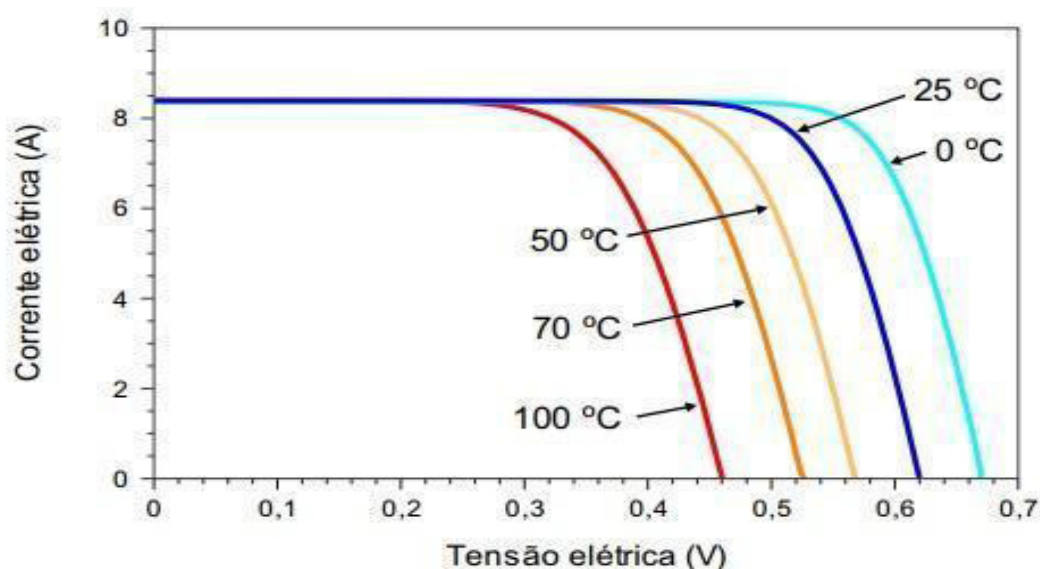


Figura 1 - Influência da temperatura da célula FV na curva I-V para uma irradiância de 1.000 W/m²

## 1.1 Modelos para predição de temperatura do módulo FV

Existem duas abordagens de classificação de modelos para predição de temperatura. A primeira é o regime permanente em que a intensidade da irradiação solar incidente e outros parâmetros não variam no tempo. Além disso, a taxa de transferência de calor do módulo FV para o ambiente é permanente e a temperatura em cada ponto do módulo é constante. O balanço de energia que conduz à determinação da temperatura de operação da célula FV leva em consideração as propriedades físicas e térmicas, os dados solarimétricos e do clima e o coeficiente de transferência de calor devido ao vento (Jackrani, et al., 2011; Skoplaki e Palyvos, 2008). A segunda, o regime transiente, mostra parâmetros que afetam a temperatura do módulo dependentes do tempo. É também uma abordagem baseada no balanço de energia (Jackrani, et al., 2011).

Outra abordagem comum é a divisão em equações implícitas e explícitas que serve para expressar o efeito da temperatura de operação na eficiência dos painéis existentes. As correlações explícitas dão a temperatura de operação da célula (TC em °C) diretamente, enquanto que as implícitas envolvem variáveis que dependem de TC. Essas últimas são adequadas, principalmente, para situações em que os módulos são montados em posição livre. Sendo assim, deve ser evitado o uso em BIPV (building-integrated photovoltaics ou sistema fotovoltaico integrado a edificações), pois os lados do módulo estão sujeitos a condições ambientais um pouco diferentes (Skoplaki e Palyvos, 2008).

Quando os mecanismos de transferência de calor, como radiação e convecção, afetam ambas as faces superior e inferior do módulo, em instalações típicas, medidas são tomadas para facilitar a remoção do calor rejeitado de modo que o módulo possa operar da forma mais eficiente possível (Skoplaki e Palyvos, 2008). É difícil determinar com exatidão a temperatura da célula, porque as células são protegidas; assim, na maioria dos casos, a temperatura do lado posterior de um módulo FV é comumente medida e assumida como semelhante às temperaturas das junções. A diferença de temperatura entre o vidro frontal e o lado posterior chega a 0,4°C a 2,8°C (Coskun, 2017).

O balanço de energia de um módulo FV resfriado por perdas para as vizinhanças pode ser escrito como uma relação entre o produto efetivo transmitância-absortância ( $\tau\alpha$ ), que quando multiplicado pela irradiação incidente produz a energia absorvida, a eficiência do módulo em converter irradiação em energia elétrica, o coeficiente de perda de calor e a diferença entre TC e a temperatura ambiente ( $T_a$  em °C). O coeficiente de troca de calor ( $UL$  em W/m<sup>2</sup>K) envolve perdas por convecção e radiação e, também, por condução através da estrutura de montagem (Duffie e Beckman, 2013).

O procedimento mais comum para determinar a temperatura da célula a partir

da equação implícita consiste em usar a condição de referência de temperatura de operação nominal da célula (NOCT) cujos parâmetros são fornecidos por um Padrão de Referência do Ambiente (SRE - Standard Reference Environment) definido como o nível de irradiância total ( $G_T$ ) de  $800 \text{ W/m}^2$ ,  $T_a$  igual a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , velocidade do vento (VW) de  $1 \text{ m/s}$  e carga elétrica nula (Coskun, 2017). Neste trabalho, o NOCT utilizado é fornecido pelo fabricante dos painéis considerando os testes a que foram submetidos. Além disso, a formulação da equação implícita, que envolve  $T_c$  igual a  $0,9$  e aproxima  $UL$  considerado constante por uma razão que envolve VW, quando este for maior do que  $1 \text{ m/s}$ , é apresentada por Duffie e Beckman (2013) como:

$$T_c = T_a + \left[ \left( \frac{G_T}{G_{T_{NOCT}}} \right) \left( \frac{9,5}{5,7 + 3,8 * VW} \right) (T_{c_{NOCT}} - T_{a_{NOCT}}) (1 - \eta_m) \right]$$

onde  $\eta_m$  é a razão entre a eficiência de conversão do módulo ( $\eta_C$ ) e  $T_a$ .

Modelos explícitos são baseados em simples expressões analíticas que são convenientes e necessárias em muitas aplicações práticas, que habilitam designers e engenheiros a determinarem os parâmetros-chave de uma célula ou módulo solar sem usar cálculos numéricos iterativos. A equação explícita mais simples é definida pela equação de Ross (1976):

$$T_c = T_a + kG_T$$

em que o parâmetro  $k$  conhecido como Coeficiente de Ross pode ter valores entre  $0,02$  e  $0,04 \text{ Km}^2/\text{W}$  ou ainda outros, dependendo do nível de integração e tamanho do gap de ar entre os módulos (Skoplaki e Palyvos, 2008). Apesar da variedade de valores, principalmente devido às variações na velocidade do vento, a aproximação linear para  $k$  igual a  $0,03 \text{ (W/m}^2\text{)-1K}$ , como uma razão da diferença entre a temperatura de módulos FV multicristalinos convencionais em Sistemas Solares Residenciais (SHS - Solar Home Systems), a temperatura ambiente e a irradiância global (Krauter, 2004). Existe também outra equação explícita proposta por Chenni et al. (2007) cuja modelagem é baseada nos dados fornecidos pelos fabricantes. O modelo utilizado é denominado de diodo único ou também de modelo de quatro parâmetros que leva em consideração a velocidade do vento, a temperatura ambiente e a irradiância solar (Jackrani, et al., 2011):

$$T_c = 0,943T_a + 0,028G_T - 1,528V_W + 4,3$$

O objetivo do presente artigo é comparar os dados de temperatura de operação de um módulo FV colhidos na região do semiárido brasileiro com os modelos propostos na literatura para determinação dessa mesma temperatura a partir de alguns parâmetros. A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará (LEA – UFC).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

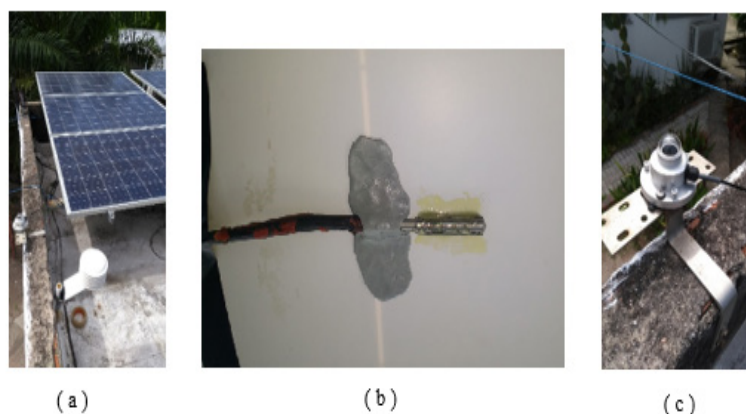
Os dados utilizados foram coletados por um sistema de aquisição e supervisão de dados aplicável a plantas de micro e minigeração FV instaladas no semiárido brasileiro. A análise do comportamento térmico e comparação com metodologias consagradas na literatura foram feitas com base na temperatura dos módulos FV. As medições de temperatura utilizadas são das duas últimas quinzenas dos meses de Agosto e Setembro de 2017, que são meses com baixo índice pluviométrico e altas médias de temperatura na região de estudo.

O sistema de monitoramento é composto basicamente por um microcontrolador PIC conectado a um Raspberry para medição de velocidade do vento, irradiância solar, temperaturas de operação do painel e ambiente, permitindo a visualização de gráficos. O sistema, que se comunica com servidor online para armazenamento dos dados, é autônomo e alimentado por painel FV. A visualização dos logs de monitoramento é feita a partir de um banco de dados estruturado MySQL, que pode ser consultado por qualquer dispositivo computacional, conectado à Internet (Dupont, 2016).

O sistema é programado para funcionar de forma descentralizada e distribuída, permitindo que múltiplos usuários e Sistemas Embarcados de Monitoramento Online (REMS) se comuniquem ao mesmo tempo pelo uso do mesmo servidor na nuvem. A Tab. 1 e a Fig. 2 mostram os sensores implantados na planta FV. O sensor de temperatura Pt-100 possui acurácia de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  e é utilizado para medir a temperatura ambiente e de trabalho do painel FV. Este sensor é fixado no painel pelo uso de cola térmica para evitar bolhas de ar que isolem o contato entre as duas superfícies.

<b>SENSORES</b>	<b>MEDIÇÃO</b>
Divisor Resistivo por 4,6	Tensão
ACS712 - 5 A	Corrente
Pt-100	Temperatura ambiente e do painel FV
Piranômetro Hukseflux LP02	Irradiância solar

**Tabela 1** – Componentes utilizados para aferição de dados



**Figura 2**—Planta FV instalada no LEA-UFC composta por (a) Painel FV com sensor de temperatura ambiente, (b) sensor de temperatura instalado sob o painel e (c) piranômetro.

Os dados são coletados pelo REMS, alimentado por uma placa FV de 250 W de silício multicristalino modelo YL250P-29b, a cada 1 minuto e registrados por meio de uma média a cada período de 10 minutos durante 24 horas do dia. Porém, para o presente artigo interessam apenas os dados registrados entre 05:00 e 18:00 horas, período entre o nascer e pôr-do-sol. A análise dos dados é realizada por uma média de cada parâmetro nas quinzena dos respectivos meses. Este procedimento foi feito para todas as medições, exceto a velocidade média dos ventos nos meses de Agosto (4,0 m/s) e Setembro (1,3 m/s) de 2017, obtidas no site da FUNCEME.

A partir dos logs de monitoramento da planta FV são obtidos dados diários de irradiância solar horizontal, de temperatura ambiente e de operação do painel. A média desses dados para cada quinzena dos meses de Agosto e Setembro de 2017 permite a montagem dos gráficos que servirão de parâmetro para as curvas de temperatura de operação do painel segundo os três métodos em estudo neste trabalho.

As médias de temperatura de operação do painel são registradas em gráficos juntamente com as curvas obtidas da aplicação de cada uma das equações propostas na literatura. A curva obtida com as medidas feitas da temperatura do painel é confrontada com os resultados fornecidos de temperatura do painel dos modelos, sendo que as equações buscam a média de seus parâmetros nos outros dados coletados pelo REMS. A intenção é validar ou invalidar os modelos propostos na literatura e apresentados na seção Introdução de equações implícitas e explícitas. Nos gráficos os dados são representados a cada dez minutos.

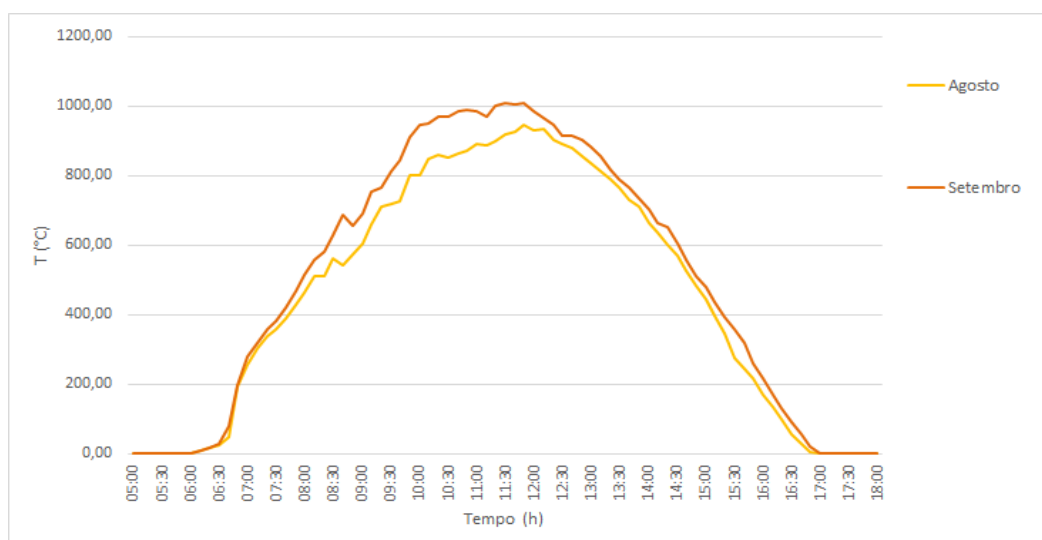
### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos períodos de ausência de irradiação apresentados na Fig. 3, até cerca de

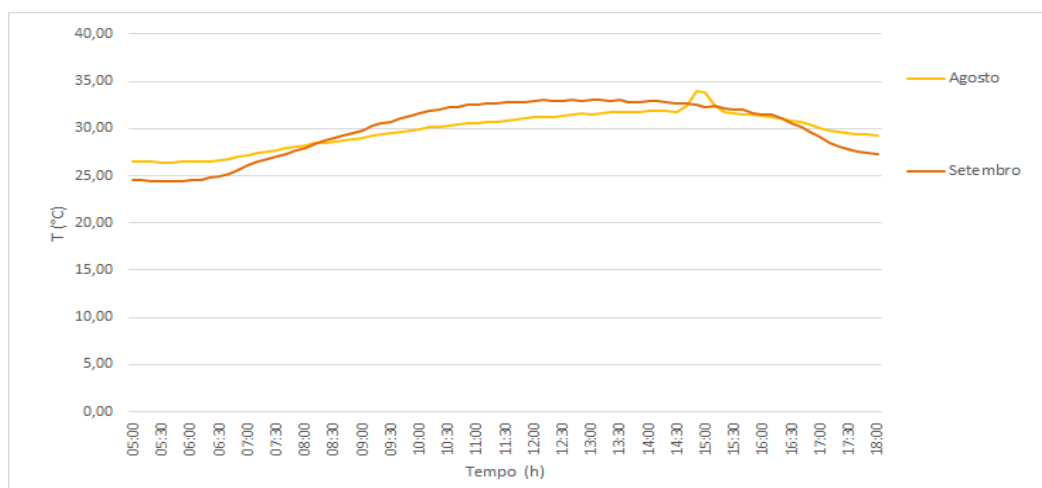


06:30 horas e após 17:00 horas, a temperatura do painel é menor do que a temperatura ambiente (ver Fig. 4). Esse fenômeno conhecido como resfriamento por irradiação noturna ocorre porque diferentemente do que acontece durante o

dia (ou período de constante irradiação), no período noturno, o céu está a uma temperatura menor que a superfície terrestre. Por consequência o calor é liberado na forma de comprimento de onda da superfície para o céu (Sikula et al., 2015). Em vista disso, os dados durante os períodos de ausência de irradiação serão desconsiderados apesar de estarem presentes nos gráficos, pois fazem parte de uma outra discussão.



**Figura 3** – Curvas de irradiação solar horizontal média nos meses de Agosto e Setembro de 2017

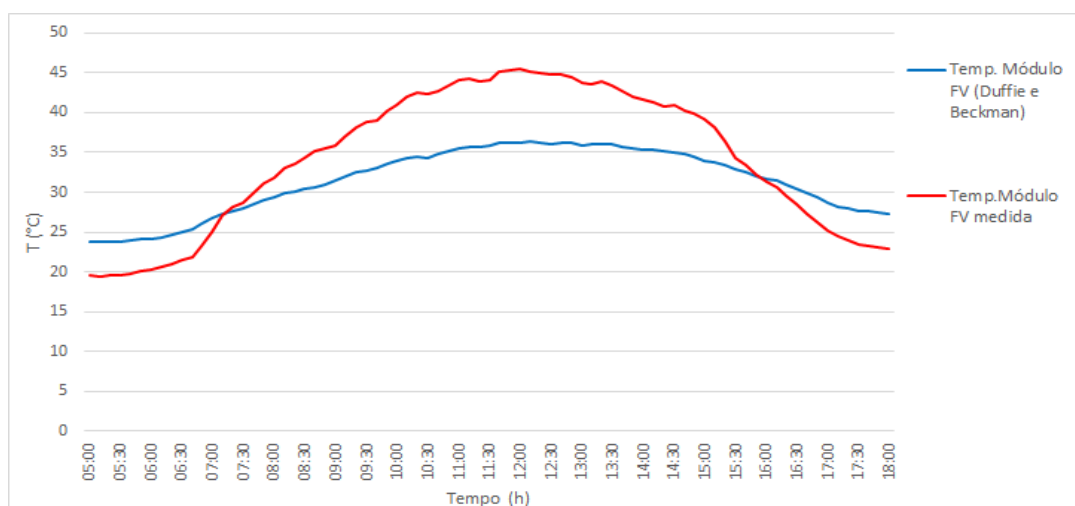


**Figura 4** – Curvas de temperatura ambiente média nos meses de Agosto e Setembro de 2017

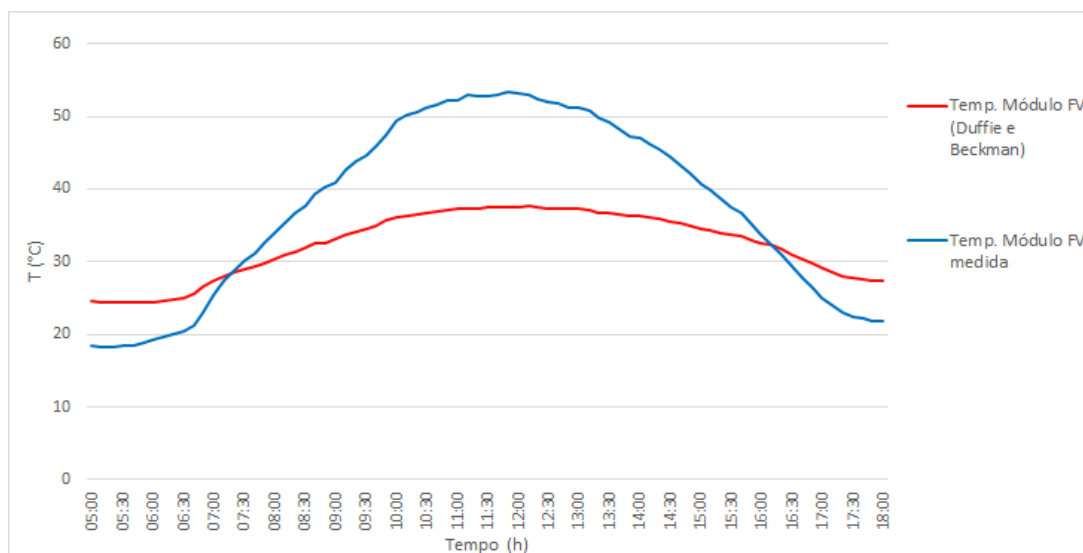
Os gráficos de comportamento da temperatura de operação do painel coletada pelo sensor de temperatura comparada com a previsão de comportamento dada pela Eq. (1) são apresentados na Fig. 5. Durante os horários de início da manhã e ao entardecer, antes de 07:00 horas e depois de 15:40 horas, TC estimada pela Eq. (1) é superior a temperatura medida. Entre 07:00 e 15:40 horas acontece o inverso, pois a razão entre a irradiação em Fortaleza/CE neste período é, em média, superior à

irradiância NOCT da placa solar, principalmente, nos períodos entre 10:00 e 14:00 horas.

Ao meio-dia em Agosto de 2017, o sensor de temperatura mediu  $45,5^{\circ}\text{C}$  e o método estimava  $36,2^{\circ}\text{C}$ , isto é, 25,7% abaixo da temperatura de operação real. Em Setembro, o comportamento da curva de temperaturas se mantém, registrando  $37,5^{\circ}\text{C}$  ao meio-dia, enquanto para o mesmo horário a temperatura medida estava  $15,7^{\circ}\text{C}$  acima. O maior problema dessa metodologia é o comportamento definido nos horários de maior incidência de irradiação e temperatura de operação.



(a)



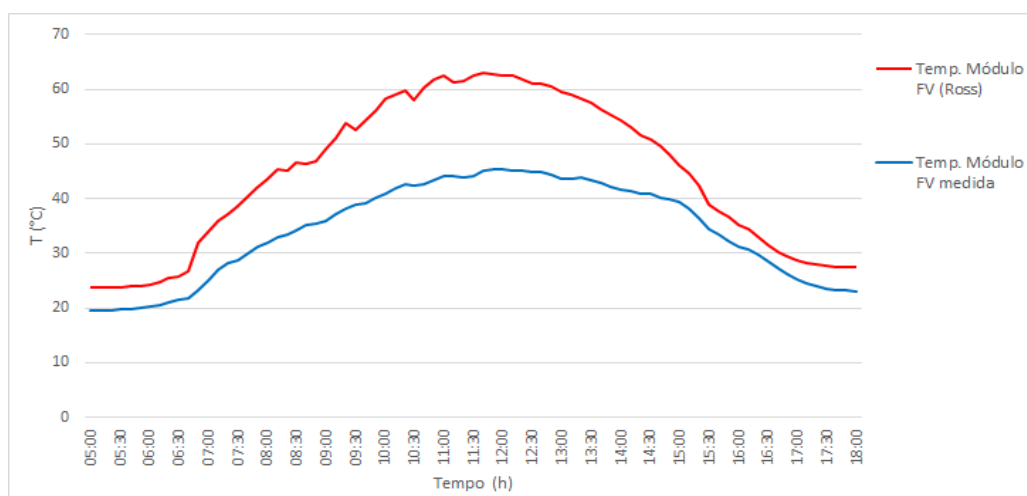
(b)

**Figura 5** - Curvas de temperatura de operação do módulo FV segundo metodologia de Duffie e Beckman (2013) em (a) Agosto e (b) Setembro de 2017.

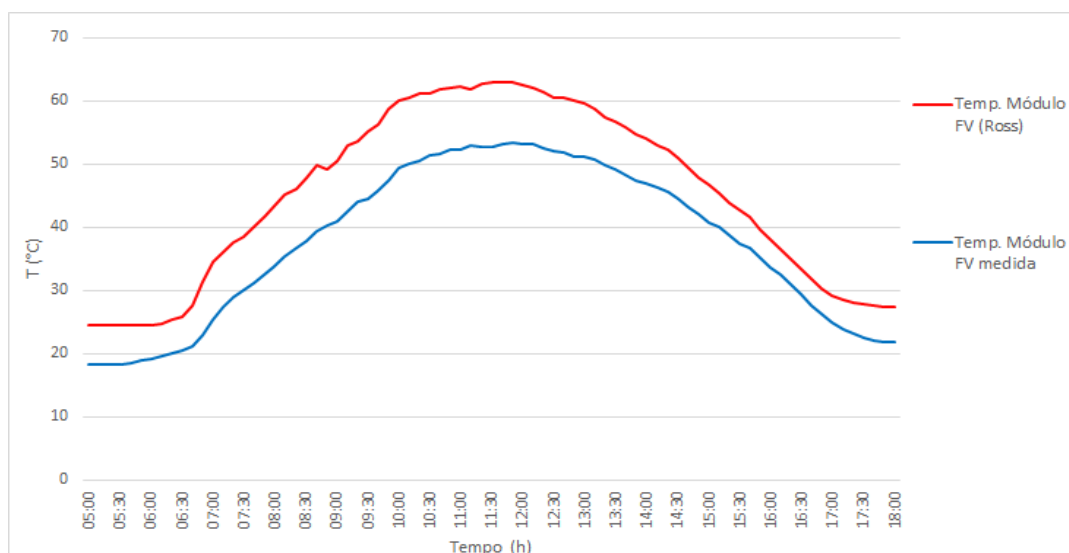
Quando observados os gráficos de comportamento da temperatura de operação do módulo FV comparado com a previsão de comportamento dada pela Eq. (2), na Fig. 6, é possível observar que a metodologia de Ross (1976) superestima o comportamento térmico. Entre 10:00 e 14:00 horas, quando a curva de comportamento térmico atinge

os valores máximos, a diferença entre a estimativa dada pela Eq. (2) e os valores medidos pelo sistema de aquisição de dados torna-se ainda mais acentuada. Por exemplo, no mês de Agosto ao meio-dia, as temperaturas são, respectivamente, 45,5°C (registrada) e 62,8°C (medida). A diferença de temperatura, portanto, passa a ser de 38%. No mês de Setembro, ao meio-dia a diferença entre TC e a temperatura estimada foi de 9,3°C.

O modelo da Eq. (2) se mostrou pouco adequado para regiões de clima quente e com grande incidência de ventos que aumenta a perda de calor para a atmosfera. Isso é comprovado pelo fato do método de Ross (1976) no mês de Agosto, com velocidade média de ventos igual a 4 m/s, que influencia na redução da temperatura de operação, ter mantido altos valores de estimativa de TC.



(a)

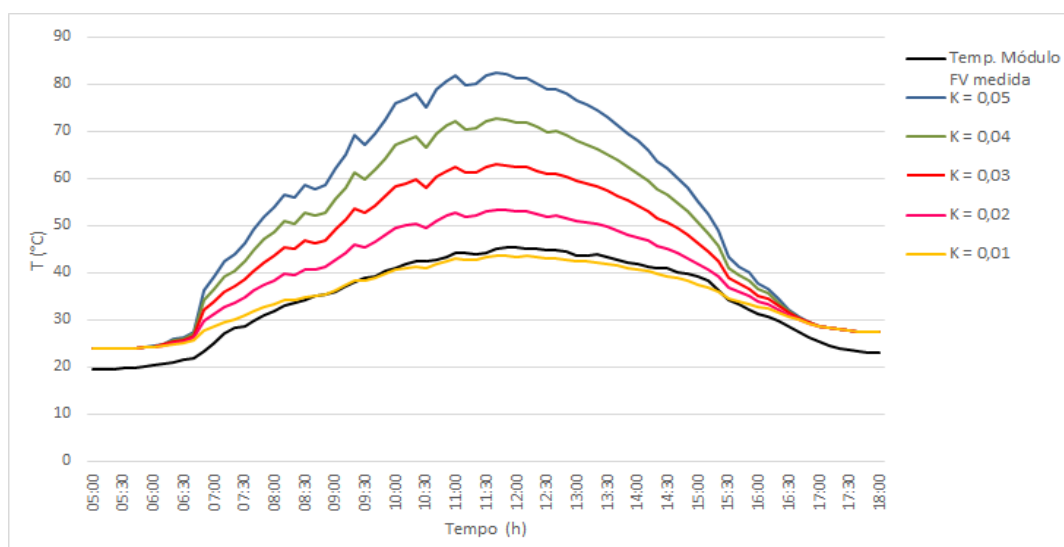


(b)

**Figura 6** - Curvas de temperatura de operação do módulo FV segundo metodologia de Ross (1976) em (a) Agosto e (b) Setembro de 2017.

A equação de Ross (1976) apresenta o parâmetro  $k$  que, como mencionado

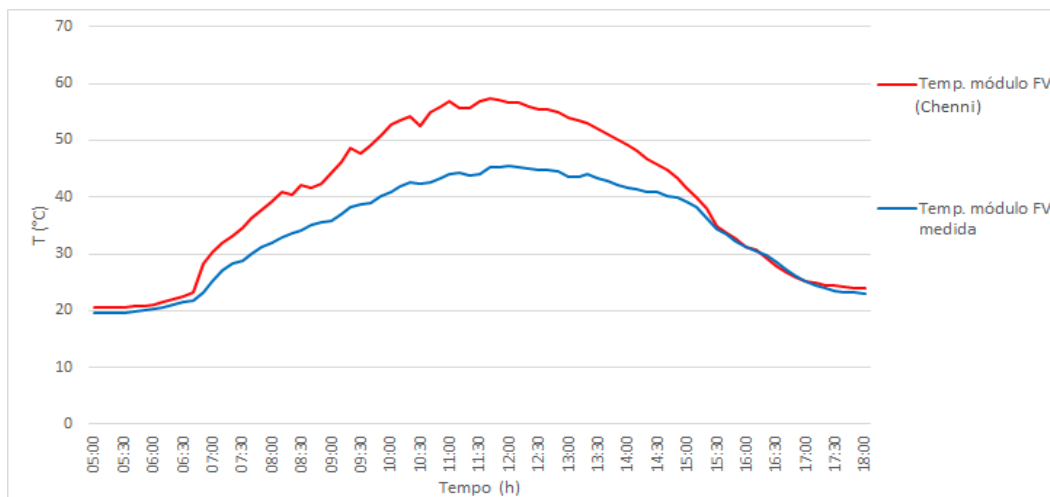
anteriormente, geralmente, apresenta valores entre 0,02 e 0,04  $\text{Km}^2/\text{W}$ . A Fig. 7 mostra uma simulação para diferentes valores do parâmetro  $k$  na qual é possível perceber que quanto menor o valor de  $k$  mais a curva de temperatura estimada se aproxima da real curva de comportamento térmico. Ao comparar o gráfico da Fig. 7 com a Eq. (2), nota-se que uma redução no valor do parâmetro  $k$  leva a uma atenuação na influência da irradiância sobre a temperatura da célula e, conseqüente, maior participação da temperatura ambiente (o outro termo presente na Eq. (2)). Uma demonstração de como o clima local é capaz de influenciar na temperatura de operação do painel. Contudo, a atuação da temperatura ambiente não diminui a importância da irradiância no aumento da temperatura da célula, apenas demonstra a capacidade do Clima Semiárido Brasileiro de afetar a temperatura de operação do painel.



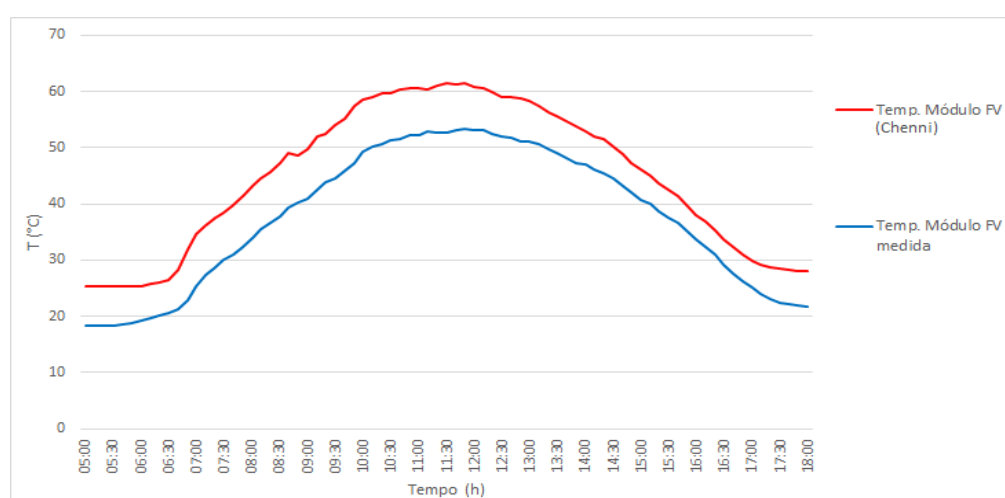
**Figura 7** –Influência do parâmetro  $k$  da Equação de Ross (1976) na resposta da curva de tendência da temperatura da célula

As curvas de comportamento térmico obtidas por meio da coleta de dados do sensor de temperatura e da metodologia desenvolvida por Chenni et. al. (2007) podem ser vistas na Fig. 8. Na curva (a) da Fig. 8 é possível notar uma boa aproximação entre a estimativa e a medição nos horários antes das 07:00 horas e depois das 15:00 horas. Contudo, as temperaturas de operação fornecidas pela Eq. (3) estão quase sempre acima de TC medida.

Na primeira quinzena às 12:00 horas, a metodologia de Chenni et. al. (2007) estima a temperatura de  $56,8^{\circ}\text{C}$  que está  $11,3^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura real. Na segunda, o comportamento para esse horário se mantém, com a Eq. (3) mostrando uma temperatura de  $60,9^{\circ}\text{C}$  que é  $7,8^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura real da célula. Essa diferença tão perceptível pode ser atribuída ao fato da velocidade do vento ter sido maior no mês de Agosto, causando maior perda de calor o que conseqüentemente reduz TC.



(a)



(b)

**Figura 7** - Curvas de temperatura de operação do módulo FV segundo metodologia de Chenni et. al. (2007) em (a) Agosto e (b) Setembro de 2017.

Portanto, dentro da limitação dos resultados nenhum dos métodos consegue prever adequadamente o comportamento da temperatura de operação de um painel FV operando em regiões de clima quente e constância de ventos, como a região estudada. Para corroborar, a Tab. 2 mostra os valores de erro máximo e mínimo associados a cada uma das três estimativas apresentadas nas Eqs. (1) a (3) em relação às temperaturas de operação medidas e os seus respectivos horários. Os erros são medidos pela comparação da temperatura de operação estimada no que se refere à temperatura real.

A Tab. 2 mostra uma tendência dos métodos de se aproximarem da temperatura de operação real em horários mais próximos ao pôr-do-sol quando a temperatura ambiente e o nível de irradiância estão mais próximos aos valores definidos no NOCT do desenvolvimento das metodologias. Nos horários de elevado índice de irradiação (Fig. 3), as diferenças entre as temperaturas estimada e medida atingem seu pico nas três metodologias analisadas. As metodologias de Ross (1976) e Chenni et al. (2007)

acabam superestimando TC por levarem em consideração as altas irradiância e  $T_a$ , desconsiderando outros fatores que mantêm a temperatura real mais baixa do que a estimativa. Diferente dos outros dois métodos, Duffie e Beckman (2013) subestima a temperatura de operação.

Quando observado o comportamento ao longo do dia, as medições têm seu comportamento descrito de forma mais apropriada pela metodologia de Duffie e Beckman (2013), entre as três consideradas. Isso se deve ao fato de apresentar uma diferença média na estimativa em relação às medições de cerca de 13%, um valor menor do que o encontrado para Ross (1976) e Chenni et al. (2007), respectivamente, iguais a 31% e 18%. No entanto nenhuma das três metodologias do estudo consegue descrever adequadamente o comportamento térmico de um painel FV operando sob as condições climáticas da região do semiárido brasileiro visto que, em média, a irradiância é superior àquela definida pelo NOCT do painel solar, principalmente, nos períodos entre 10:00 e 14:00 horas.

Mês	Metodologia	Erro mínimo (°C)	Horário de erro mín. (em horas)	Erro máximo (°C)	Horário de erro máx. (em horas)
Agosto	Duffie e Beckman (2013)	+2,1	07:50	-9,2	12:00
	Ross (1976)	+2,3	16:30	+18,4	11:30
	Chenni (2007)	+2,4	15:00	+12,8	11:30
Setembro	Duffie e Beckman (2013)	-2,2	15:50	-15,7	11:50
	Ross (1976)	+4,0	16:30	+11,3	09:50
	Chenni (2007)	+4,3	16:10	+10,0	09:50

**Tabela 2** - Erros relativos às temperaturas medida e estimada pelas metodologias de Duffie e Beckman (2013), Ross (1976) e Chenni et al. (2007).

#### 4 | CONCLUSÃO

Dentro das limitações dos resultados, nenhum dos três métodos (Duffie e Beckman (2013), Ross (1976) e Chenni et al. (2007)) é suficientemente adequado para descrever o comportamento térmico de módulos FV instalados na região do semiárido brasileiro, que possui grande potencial para instalação desse tipo de energia sustentável. Nos horários de elevado índice de irradiação, as diferenças entre a temperatura de operação real e a dada pelos métodos atingem seus maiores valores

visto que, em média, a irradiância é superior aquela definida pelo NOCT do painel solar, principalmente, nos períodos entre 10:00 e 14:00 horas.

Porém, do ponto de vista da diferença entre a temperatura de operação medida e estimada, o método desenvolvido por Duffie e Beckman (2013), entre os três métodos analisados, é o que descreve de forma mais próxima o comportamento medido. Isso se deve ao fato de apresentar durante todo o período de operação do painel FV uma diferença nas medições de temperatura com cerca de 13% e erro máximo de 15,7°C. Se a observação for voltada para a existência de erros máximo e mínimo, a metodologia de Duffie e Beckman (2013) também torna-se mais apropriada entre as três analisadas. Essa metodologia, assim como a metodologia de Chenni et al. (2007), trata da relevância da perda de calor causada pela ação dos ventos constantes na região onde o painel está em operação. Os ventos representam a principal forma de troca de calor e contribuem para a redução de TC e, conseqüentemente, para o aumento da potência máxima da célula, tornando esses modelos mais representativos.

## 5 | REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2012. **Resolução Normativa N° 482**.

Coskun, C., Toygar, U., Sarpdag, O., Oktay, Z., 2017. **Sensitivity analysis of implicit correlations for photovoltaic module temperature: A Review**, Journal of Cleaner Production, vol. 17, pp. 31508-1.

Chenni R., M. Makhlouf, T. Kerbache e A. Bouzid, 2007. **A detailed modeling method for photovoltaic cells**, Energy, vol. 32, pp. 1724-1730.

Duffie, J. A., Beckman, W. A., 2013. **Solar Engineering of Thermal Processes**. Quarta edição. Editora Wiley. 910 p.

Dupont, I. M., Pereira, R. I. S., Carvalho, P. C. M. de, Jucá, S. C. S., 2016. **Sistema embarcado Linux aplicado ao monitoramento em nuvem de planta de microgeração fotovoltaica**. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte.

FUNCEME. PCD - Plataforma de Coleta de Dados. Disponível em: <<http://www.funceme.br/app/pcd/mapa/sensor/vento/ce/2m?>>. Acesso em: 16 de Outubro de 2017.

Jakhrani, A. Q., Othman, A. K., Rigit, A. R. H., Samo, S. R., 2011. **Comparison of Solar Photovoltaic Module Temperature Models**, World Applied Science Journal, vol. 14, pp. 01-08.

Krauter, S. C. W., 2004. **Development of an integrated solar home system**, Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 82, pp. 119-30.

Martins, F. R., Pereira, E. B., Silva, S. A. B., Abreu, S. L., Colle, S., 2008. **Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment**, Energy Policy, v. 36, pp. 2853-2864.

Moharram, K. A., Abd-Elhady, M. S., Kandil, H. A., El-Sherif, H., 2013. **Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling**, Ain Shams Engineering Journal, vol. 4, pp. 869 - 877.

- Pinho, J. T., Galdino, M. A., 2014. **Manual de Engenharia para Sistemas fotovoltaicos**. Grupo de Energia solar - GTES - CEPEL - DTE - CRESESB. Rio de Janeiro. 529 páginas.
- Pinto, J. T. M., Amaral, K. J., Janissek, P. R., 2016. **Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing**, *Solar Energy*, vol. 133, pp. 73-84.
- Popovici, C. G., Hudisteanu, S. V., Mateescu, T. D., Chereches, N.-C., 2015. **Efficiency improvement of photovoltaic panels by using air cooled heat sinks**, *Energy Procedia*, vol. 85, pp. 425-432.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L. de, Rüther, R., 2006. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Editora Swera. São José dos Campos: INPE. 60 páginas. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)>. Acesso em: 08 de Maio de 2017.
- Ross, R.G, 1976. **Interface design considerations for terrestrial solar cell modules**. Proceedings of 12th IEEE photovoltaic specialists conference, Baton Rouge, LA. pp. 801-6.
- Sikula, O., Vojkuvková, P., Sima, J., Plasek, J., Gebauer, G., 2015. **Hybrid roof panels for night cooling and solar energy utilization in buildings**. *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 177–183.
- Skoplaki, E., Palyvos, J. A., 2008. **Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations**, *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 23-29.
- Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, TH., Souliotis, M., Yianoulis, P., 2002. **Hybrid photovoltaic/thermal solar systems**, *Solar Energy*, vol. 72, n. 3, pp. 217 - 234.



## **SOBRE O ORGANIZADOR:**

**Paulo Jayme Pereira Abdala** possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005) e pós-graduação em Gestão de Aviação Civil pela Universidade de Brasília (2003). Entre 1989 e 2008 foi Chefe do Laboratório de Ruído Aeronáutico e Emissões de Motores do DAC/ANAC, tendo desenvolvido centenas de estudos sobre poluição sonora e atmosférica oriundas da atividade aeronáutica. Foi representante oficial do Brasil em diversos Fóruns Internacionais sobre meio ambiente promovidos pela Organização de Aviação Civil Internacional OACI - Agência da ONU. Foi Coordenador dos Cursos de Engenharia de Produção, Elétrica, Civil e Mecânica na UNOPAR/PG entre 2013 e 2018. Atualmente é Consultor Independente para a AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, OACI e INFRAERO. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, meio ambiente e pedagogia (metodologia TRAINAIR/OACI).

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-066-7

