

# Energia Solar e Eólica 2

Paulo Jayme Pereira Abdala  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora

Ano 2019

**Paulo Jayme Pereira Abdala**  
(Organizador)

# Energia Solar e Eólica 2

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 2 [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-067-4

DOI 10.22533/at.ed.674192201

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>
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NOS CAMPI IFG ITUMBIARA E URUAÇU	
Sergio Batista da Silva Olívio Carlos Nascimento Souto Fernando Nunes Belchior Ghunter Paulo Viajante Elias Barbosa Macedo Vera Ferreira Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>24</b>
ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA - CE	
Sofia da Costa Barreto Paulo Cesar Marques de Carvalho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>41</b>
ESTUDO DO COMPORTAMENTO E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ABACAXI SECADO EM SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Raphaela Soares da Silva Camelo Juliana Lobo Paes Milena Araujo Silva Madelon Rodrigues Sá Braz Dhiego Santos Cordeiro da Silva Camila Lucas Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>54</b>
ESTUDOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS SOBRE O CUINSE <sub>2</sub> E SUA APLICAÇÃO EM DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS	
Yuri Hamayano Lopes Ribeiro Denis Gilbert Francis David Marcus Vinícius Santos da Silva Jailton Souza de Almeida	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>66</b>
EXPERIÊNCIA DE CURSO GRATUITO DE INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE OFERECIDO PELO IFTO CAMPUS PALMAS	
Claudio Silva dos Santos Abimael Ribeiro Martins Adail Pereira Carvalho Brunno Henrique Brito	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>78</b>
IMPACTO DA LEI PALMAS SOLAR NA ANÁLISE FINANCEIRA DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO	
Isamara Quirino de Castro Carlos Brunno Henrique Brito	

Felipe Tozzi Bittencourt  
DOI 10.22533/at.ed.6741922016

**CAPÍTULO 7 ..... 91**

IMPACTOS DOS INCENTIVOS DOS GOVERNOS DO ESTADO E DO MUNICÍPIO NA MICROGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO

Allan Carlos do Nascimento Silva  
Brunno Henrique Brito

DOI 10.22533/at.ed.6741922017

**CAPÍTULO 8 ..... 104**

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DOIS GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS DIRETAMENTE NO BARRAMENTO C.C. DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS/MINIRREDES (GEDAE/UFPA)

Jorge Augusto Leal Corrêa  
Claudomiro Fábio de Oliveira Barbosa  
Marcos André Barros Galhardo  
João Paulo Alves Veríssimo  
Israel Hidai Lobato Lemos  
Edinaldo José da Silva Pereira  
João Tavares Pinho

DOI 10.22533/at.ed.6741922018

**CAPÍTULO 9 ..... 121**

INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Elismar Ramos Barbosa  
Merlim dos Santos Ferreira de Faria  
Fabio de Brito Gontijo

DOI 10.22533/at.ed.6741922019

**CAPÍTULO 10 ..... 132**

INFLUÊNCIA DO ESPECTRO SOLAR EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SOB CÉU LIMPO, CÉU PARCIALMENTE NUBLADO E CÉU NUBLADO

Guilherme Marques Neves  
Waldeir Amaral Vilela  
Enio Bueno Pereira  
Luiz Angelo Berni

DOI 10.22533/at.ed.67419220110

**CAPÍTULO 11 ..... 146**

INTENSIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA ATRAVÉS DE GERADOR DE VÓRTICE LONGITUDINAL DO TIPO DELTA

Felipe Augusto Santos da Silva  
Leandro Oliveira Salviano

DOI 10.22533/at.ed.67419220111

**CAPÍTULO 12 ..... 161**

METODOLOGIA COMPUTACIONAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE IRRADIÂNCIA SOLAR

Marcus Vinícius Contes Calça  
Matheus Rodrigues Raniero  
Alexandre Dal Pai  
Carlos Roberto Pereira Padovani  
Domingos Mario Zeca Fernando

**CAPÍTULO 13 ..... 174**

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABRIGOS DE PONTOS DE ÔNIBUS NA AV. ALMIRANTE BARROSO – BELÉM/PA

Ana Laura Pinheiro Ruivo Monteiro  
Edinaldo José da Silva Pereira  
Everton Leandro Santos Amaral  
Ítalo de Sousa  
Magda Tayane Abraão de Brito

**DOI 10.22533/at.ed.67419220113**

**CAPÍTULO 14 ..... 191**

PROJETO PRELIMINAR DE UM RADIÔMETRO ABSOLUTO PARA MEDIR A IRRADIÂNCIA SOLAR TOTAL

Franciele Carlesso  
Jenny Marcela Rodriguez Gomez  
Luiz Angelo Berni  
Graziela da Silva Savonov  
Luis Eduardo Antunes Vieira  
Waldeir Amaral Vilela  
Edson Luiz de Miranda

**DOI 10.22533/at.ed.67419220114**

**CAPÍTULO 15 ..... 200**

PROJETO, DESENVOLVIMENTO E TESTE DE FOGÕES SOLARES

Diego Lopes Coriolano  
Erico Diogo Lima da Silva  
Iraí Tadeu Ferreira de Resende  
Vanina Cardoso Viana Andrade  
Denilson Pereira Gonçalves  
Renan Tavares Figueiredo  
Odélsia Leonor Sanchez de Alsina

**DOI 10.22533/at.ed.67419220115**

**CAPÍTULO 16 ..... 213**

PROPOSTA DE RETROFIT NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E ESTUDO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UM DOS BLOCOS DA UTFPR EM CURITIBA

Larissa Barbosa Krasnhak  
Jair Urbanetz Junior

**DOI 10.22533/at.ed.67419220116**

**CAPÍTULO 17 ..... 229**

PROPOSTA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OTIMIZAÇÃO DO GASTO PÚBLICO COM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA UNIDADE DE ENSINO FEDERAL IMPLANTADA NA REGIÃO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Adriano Moraes da Silva  
Rebeca Lorena Santos Maia e Silva  
Danielle Bandeira de Mello Delgado

**DOI 10.22533/at.ed.67419220117**

**CAPÍTULO 18 ..... 246**

PLATAFORMA PORTÁTIL E DE BAIXO CUSTO PARA A AQUISIÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA

DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Júlio César Madureira Silva  
Augusto César da Silva Bezerra  
Claudinei Rezende Calado  
Ana Luiza F. Maia  
Amanda Ribeiro Amorim

**DOI 10.22533/at.ed.67419220118**

**CAPÍTULO 19 ..... 255**

SISTEMA DE AQUISIÇÃO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE DADOS EM SERVIDOR REMOTO UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE RASPBERRY PI E ARDUINO

José Ilton de Oliveira Filho  
Wilk Coelho Maia

**DOI 10.22533/at.ed.67419220119**

**CAPÍTULO 20 ..... 263**

SUJIDADE DEPOSITADA SOBRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EM GOIÂNIA: MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Pedro Victor Valadares Romanholo  
Bernardo Pinheiro de Alvarenga  
Enes Gonçalves Marra  
Sérgio Pires Pimentel

**DOI 10.22533/at.ed.67419220120**

**CAPÍTULO 21 ..... 275**

TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS SOLARIMÉTRICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA EMC/UFG

Jéssica Alice Alves da Silva  
Bernardo Pinheiro de Alvarenga  
Sérgio Pires Pimentel  
Enes Gonçalves Marra

**DOI 10.22533/at.ed.67419220121**

**CAPÍTULO 22 ..... 290**

TESTES DE SENSIBILIDADE PARA DIFERENTES PARAMETRIZAÇÕES CUMULUS DO MODELO WRF PARA MELHORAR AS ESTIMATIVAS DE VENTO

Lucia Iracema Chipponelli Pinto  
Francisco Jose Lopes de Lima  
Fernando Ramos Martins  
Enio Bueno Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.67419220122**

**CAPÍTULO 23 ..... 303**

O ENSINO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

André Barra Neto  
Ana Paula Pinheiro Zago  
Márcia Helena da Silva  
Mirian Sousa Moreira  
José Eduardo Ferreira Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.67419220123**

<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>317</b>
POTENCIALIDADE DO BIOGÁS GERADO PELA CODIGESTÃO ENTRE DEJETO BOVINO E SUÍNO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Juliana Lobo Paes</li> <li>Camila Ferreira Matos</li> <li>Gabriel Araújo e Silva Ferraz</li> <li>Giancarlo Bruggianesi</li> <li>Camila Kelly de Queiroz</li> <li>Caroline Stephanie Gomes de Castro Soares</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220124</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>333</b>
SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA OTEC DE CICLO FECHADO OPERANDO NO BRASIL	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Marcus Godolphim de Castro Neves</li> <li>Hélio Henrique Rivabene Ferreira Dias</li> <li>Cassio Roberto Macedo Maia</li> <li>Ricardo Alan Verdú Ramos</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220125</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>344</b>
ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE 24 MESES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NO ESTADO DO TOCANTINS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Brunno Henrique Brito</li> <li>Thálisson Câmara Belém</li> <li>Márcio Serafim de Almeida</li> <li>Felipe Tozzi Bittencourt</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220126</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>359</b>
ESTUDO TECNOLÓGICO DE SISTEMAS DE CULTIVO DE MICROALGAS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Robson de Souza Santiago</li> <li>Bruno Lindbergh Sousa</li> <li>Yordanka Reyes Cruz</li> <li>Estevão Freire</li> <li>Suely Pereira Freitas</li> <li>Gisel Chenard Díaz</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220127</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>376</b>
INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS SOBRE A SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES AERONÁUTICAS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Francisco Wilson Falcão Júnior</li> <li>Paulo Cesar Marques de Carvalho</li> <li>Wilson Cabral de Sousa Júnior</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220128</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>390</b>

## PROJETO PRELIMINAR DE UM RADIÔMETRO ABSOLUTO PARA MEDIR A IRRADIÂNCIA SOLAR TOTAL

**Franciele Carlesso**  
**Jenny Marcela Rodriguez Gomez**  
**Luiz Angelo Berni**  
**Graziela da Silva Savonov**  
**Luis Eduardo Antunes Vieira**  
**Waldeir Amaral Vilela**  
**Edson Luiz de Miranda**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos - SP

**RESUMO:** As variações da Irradiância Solar Total (TSI, em inglês) têm impacto no balanço de energia e no clima da Terra. Medidas da TSI tem sido realizadas continuamente por instrumentos a bordo de satélites durante os últimos quatro ciclos solares. No entanto, combinar essas medidas ainda é desafiador devido à degradação dos elementos do sensor e à estabilidade a longo prazo da eletrônica. Aqui descrevemos os esforços preliminares para projetar um radiômetro absoluto com base no princípio de substituição elétrica que está em desenvolvimento no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

**PALAVRAS-CHAVE:** Radiômetro absoluto, Irradiância solar total, Cavidade absorvedora

**ABSTRACT:** The total solar irradiance impacts the Earth's energy balance and climate. TSI measurements have been carried out

continuously by instruments on board satellites during the last four solar cycles. However, these measurements are still challenging due to the sensor degradation and the long-term stability of the electronics. Here we describe the preliminary efforts to design an absolute radiometer based on the principle of electrical substitution under development at the National Institute for Space Research (INPE).

**KEYWORDS:** Absolute radiometer, Total solar irradiance, Absorbing cavity

### 1 | INTRODUÇÃO

A energia proveniente do Sol está diretamente relacionada com os processos biológicos, físicos e químicos, ou seja, está relacionada com a vida na Terra. Essa energia é um fator determinante de influência no clima e supera em 2500 vezes todas as outras fontes de energias naturais combinadas (KOPP, Greg, 2014). As mudanças climáticas têm sido objeto de estudo e discussão pela comunidade científica e é uma das grandes preocupações mundiais. O *World Meteorological Organisation do Global Climate Observing System (WMO/GCOS)* identificou a Irradiação Solar Total (TSI, do inglês) como uma das 50 variáveis climáticas essenciais para os trabalhos da

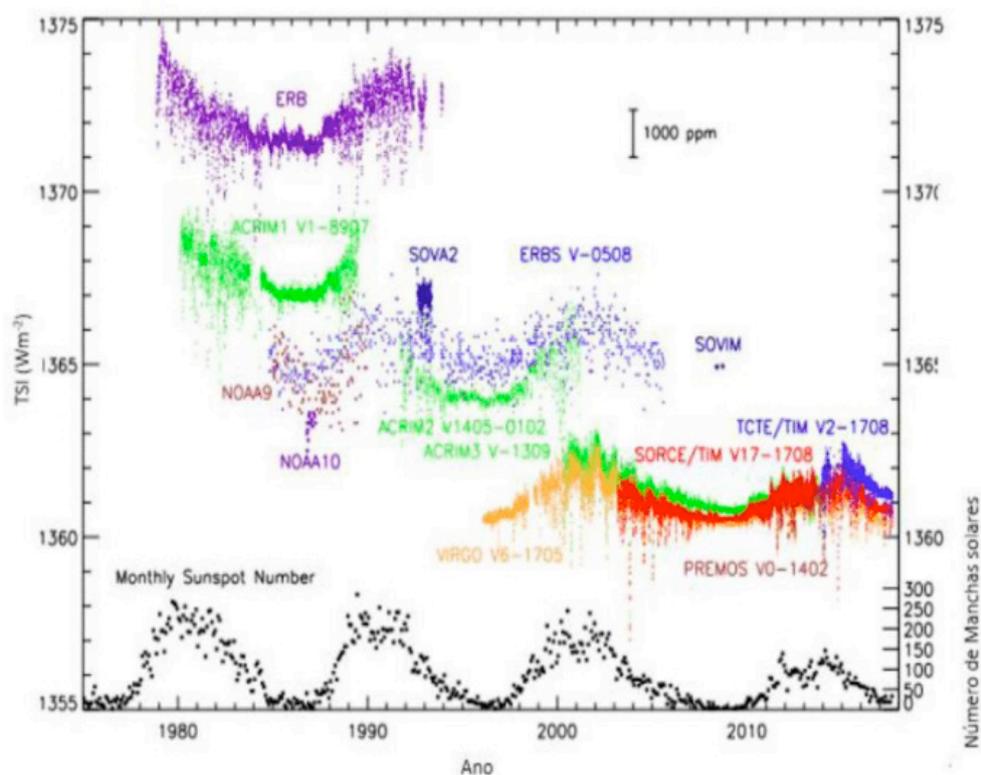
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) e também do conhecido *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (WALTER *et al.*, 2017). Por exemplo, o IPCC, 2013 quantificou a influência da TSI no clima em torno de 8 % (ERMOLLI *et al.*, 2013).

A radiação solar é o fluxo de energia emitida pelo Sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. As medidas de Irradiância Solar Total são definidas como potência total da energia proveniente do Sol por unidade de área a 1 UA (unidade astronômica) integradas espacial e espectralmente. As medidas são realizadas utilizando radiômetros absolutos, os quais são definidos como um instrumento que pode detectar e quantificar o nível de radiação incidente utilizando meios de quantificação diretos a outros fenômenos físicos mensuráveis, por exemplo, a temperatura (PARR; DATLA; GARDNER, 2005). Durante muitos anos essa energia foi considerada erroneamente uma constante de valor  $1.365 \text{ Wm}^{-2}$ . No entanto, desde 1978 o monitoramento contínuo da TSI tem demonstrado variações em diferentes escalas de tempo. Essas variações, além de impacto no clima, também têm impacto na atmosfera da Terra, ou seja, na química da atmosfera superior, da ionosfera e da estratosfera (ERMOLLI *et al.*, 2013; VIEIRA, L. E. A. *et al.*, 2011).

Nos últimos 39 anos as medidas da TSI foram realizadas por mais de doze instrumentos a bordo de satélites em diferentes missões, conforme visualizado na Figura 1. As observações realizadas por esses instrumentos estavam convergindo para um determinado valor, no entanto, em 2003 foi lançado o instrumento *Total Irradiance Monitor* (TIM) que apresentou valores em torno de  $4 \text{ W/m}^2$  inferiores aos apresentados por instrumentos como o VIRGO E ACRIM III. Em 2005, um *workshop* foi realizado para identificar as possíveis razões das diferenças observadas nas medidas e concluiu-se que a parcela da luz espúria, devido ao design do instrumento, é uma das principais fontes da diferença juntamente com outras potenciais fontes de erro como a calibração da cavidade, degradação do filme absorvedor e da área de abertura (BUTLER *et al.*, 2008). Como resultado do *workshop* observou-se que além da sobreposição de medidas com diferentes instrumentos, era necessário haver uma intercalibração dos radiômetros em solo. Como resultado, KOPP, G *et al.* (2007) iniciou a montagem de um laboratório para calibração absoluta dos instrumentos em solo o TRF (*Total Solar irradiance Radiometer Facility*) em Boulder, Colorado, USA. Os dados apresentados na Figura 1 evidenciam as diferenças das medidas devido à calibração instrumental e também devido à degradação, principalmente do elemento sensor, que ocorre em ambiente espacial.

A reconstrução da irradiância com base nos dados observados pelos instrumentos é fundamental para estudo do clima global em longas escalas de tempo como também em outras áreas de estudo da física solar como a heliosismologia ou variações em curtas escalas de tempo como são os flares ou as ejeções de massa coronal que podem afetar o clima espacial. Dessa forma o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais iniciou o desenvolvimento de um radiômetro absoluto de banda larga com a finalidade de estudo

e desenvolvimento da tecnologia nacional desse modelo de instrumento. Nesse artigo descrevemos os esforços preliminares no INPE para construir um protótipo para testes de bancada e para auxiliar na caracterização mecânica e eletrônica do instrumento.



**Figura 1-** O registro de dados da TSI realizada por diferentes instrumentos. Adaptado de KOPP, G, 2016

## 2 | DELINEAMENTO DO PROJETO

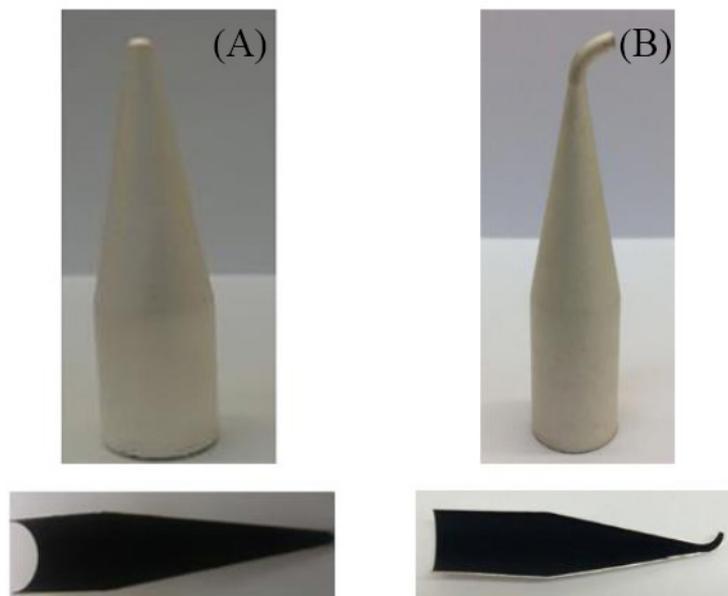
O instrumento faz parte da Missão GSST (*Galileo Solar Space Telescope*) que tem como objetivo realizar observações da evolução da estrutura magnética da fotosfera, cromosfera, região de transição e corona solar. A missão é composta por um conjunto de instrumentos incluindo um radiômetro para monitorar a variabilidade da emissão eletromagnética total que chega ao topo da atmosfera terrestre (TSI). Atualmente, a missão está em fase de análise na divisão de Engenharia e Tecnologia Espaciais do INPE. Além dos objetivos científicos, o desenvolvimento do instrumento tem importância fundamental para a capacitação e exploração de novas tecnologias em diferentes áreas. O projeto engloba uma equipe multidisciplinar do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em cooperações com o Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) e a Universidade de São Paulo (USP). A elaboração do projeto está seguindo um procedimento formal e estruturado de engenharia de sistemas para o desenvolvimento do radiômetro de banda larga. Essa abordagem nos permite definir objetivamente os requisitos para o instrumento, especificamente, no gerenciamento dos seguintes itens: definição dos objetivos, o escopo, e os produtos do projeto; identificação de restrições,

premissas, riscos e dependências; desenvolvimento de conceito; requerimentos técnicos; definição dos orçamentos; definição de normas técnicas; preparação da documentação para aquisição de componentes; modelagem de desempenho; verificação e validação; montagem, integração, testes, e comissionamento. Nesta fase do projeto, estamos construindo um protótipo de bancada para a realização dos testes iniciais e para ajudar na caracterização da estrutura mecânica, eletrônica e óptica. Embora seja o projeto de um protótipo de prova de conceito, todos os requisitos estão sendo definidos próximos aos requisitos para a operação espacial (BERNI, L. A. *et al.*, 2016).

### 3 | DESCRIÇÃO DO PROJETO

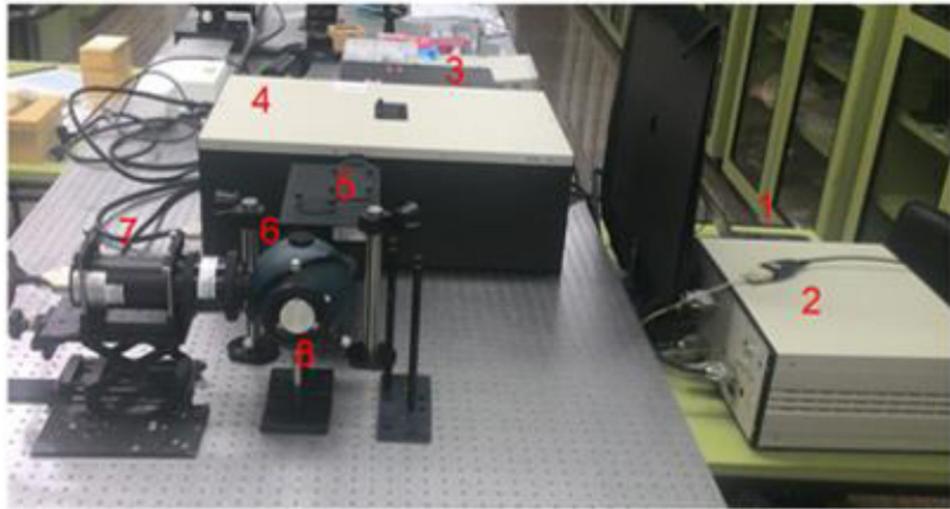
O Radiômetro de banda larga brasileiro é um radiômetro de substituição elétrica (*electrical substitution radiometer*). O projeto conceitual do instrumento baseia-se em radiômetros existentes, como o instrumento TIM a bordo do satélite SORCE (KOPP, Greg; LAWRENCE, 2005). Esse tipo de instrumento depende fortemente de cavidades absorvedoras de radiação solar, a qual foi construída de prata pura (99,4 - 99,9%) eletrodepositada devido à alta condutividade térmica. O interior da cavidade foi revestido com um material preto para absorver a luz solar incidente. Como material absorvedor, nesse projeto, foi utilizado um filme de Ni-P enegrecido. O desenvolvimento do filme de Ni-P enegrecido foi estudado e as relações entre estrutura morfológica, composição química e absorção de revestimento foram descritas em CARLESSO *et al.* (2017). O filme de Ni-P foi depositado no interior da cavidade utilizando a técnica *electroless* e, posteriormente, enegrecido através de ataque químico utilizando um ácido oxidante. Na Figura 2 observa-se duas versões com diferentes geometrias das cavidades construídas. A geometria cônica foi alterada adicionando-se uma extremidade curva com o objetivo de auxiliar no fluxo da solução durante a deposição do Ni-P e também no enegrecimento do filme.

Posteriormente, um fio resistor será envolto na parede exterior das cavidades, somente na região cônica, para aquecer a mesma região aquecida quando o sensor é exposto à radiação solar. Essa resistência é encapsulada com uma camada epoxy para manter uma boa condução térmica do enrolamento para a cavidade. Externamente a cavidade é revestida com ouro para reduzir as perdas radiativas para o meio.



**Figura 2** - Cavidade absorvedora de radiação solar cônica (A) e cavidade de extremidade curva (B) com revestimento interno de Ni-P enegrecido.

A calibração do radiômetro completo é um fator determinante para obtenção de medidas confiáveis. Além disso, a calibração de cada subsistema permite fazer um levantamento completo de todas as incertezas envolvidas. A absorção da cavidade ( $\alpha$ ) é uma das fontes individuais de incerteza, ou seja, contribui para a incerteza do instrumento completo. A grandeza medida para a determinação da incerteza é a refletância da cavidade ( $1 - \alpha$ ). As medidas de refletância foram realizadas no INPE utilizando uma configuração experimental, visualizada Figura 3, constituída basicamente de uma lâmpada halogênia de quartzo como fonte, um monocromador (*OL 750-M-D Double Monochromator da Gooch & Housego*), um módulo óptico (*OL 750-10 Mirror Imaging Optics Module*) para focar na saída da esfera integradora (*Newport*) e um detector (*OL 750-HDS-300 Silicon*). Como referência foi utilizado o padrão LabsphereR (*Spectralon Reflectance SRT-99-050*). Na Figura 4 visualiza-se a refletância espectral total da cavidade na região de 400 nm a 1000 nm. Observa-se que a refletância total aumenta significativamente partir de 700 nm, mas não excede 0,5 % para comprimentos de onda menores que 1000 nm.



**Figura 3** - Imagem da configuração experimental para medidas de refletância. 1 – Computador, 2 – Controlador, 3 – Fonte, 4 – Monocromador duplo, 5 – Módulo de Imagem Óptica de Espelho, 6 – Esfera integradora, 7 – Detector e 8 – Amostra.

O instrumento (Figura 5) opera com três cavidades alternadamente, para aumentar a vida útil do dispositivo enquanto a quarta cavidade é utilizada como referência e só é exposta anualmente. Através desse ciclo de exposição das cavidades é possível monitorar a degradação do material absorvedor e fazer as correções necessárias nas medidas da TSI. As cavidades cônicas são mantidas a uma temperatura de equilíbrio de 31°C através da passagem de uma corrente elétrica pelos resistores. Quando um dos *shutter* é aberto, expondo a cavidade à radiação solar, a temperatura da cavidade tende a aumentar. A corrente é, então, ajustada para que a temperatura seja mantida. Assim a queda de corrente é mensurada, e conhecendo a área de entrada do radiômetro é possível determinar, a potência ótica. Para essas medidas as cavidades operam sempre em pares enquanto uma é exposta a radiação a outra é mantida com o obturador fechado à temperatura de referência. A determinação da potência ótica é relativamente simples, no entanto, a verificação das incertezas envolvidas e aplicação das correções é primordial para obtenção de medidas válidas.

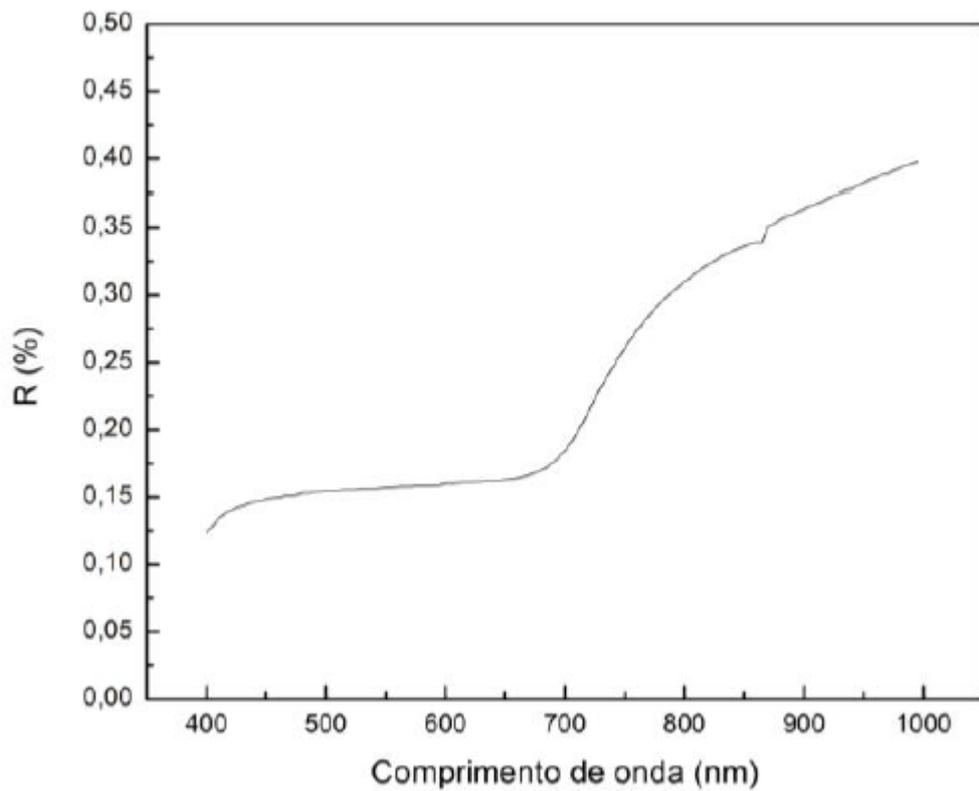


Figura 4 - Refletância total da cavidade em função do comprimento de onda.

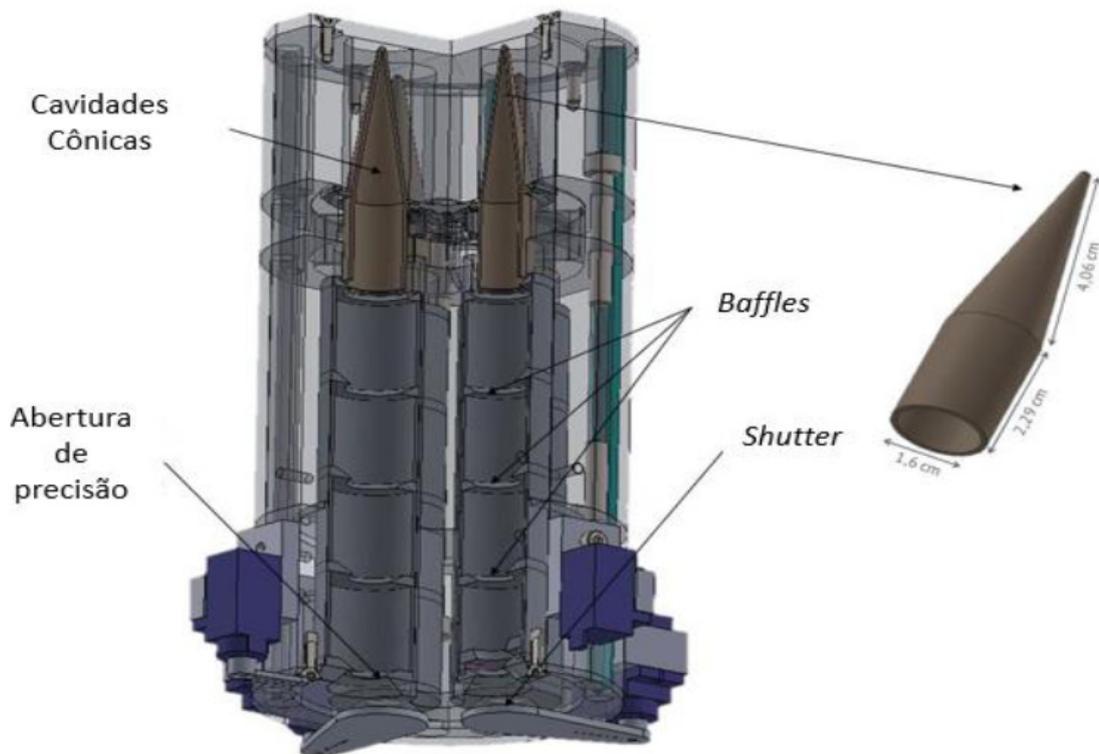


Figura 5- Projeto do Radiômetro absoluto em desenvolvimento. Adaptado de BERNI, L. A. *et al.*, 2016

Uma primeira versão do desenvolvimento do radiômetro foi construída na Escola

da engenharia EEL-USP/Lorena utilizando a plataforma Arduino para a capacitação de recursos humanos. Foram elaborados circuitos de alimentação, drivers de potência, circuitos de conversão de sinais e um sistema para transmissão de dados via radiofrequência. O radiômetro realiza medidas em solo, embora funcione similarmente aos instrumentos TIM (MENEZES, 2017).

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse é o primeiro projeto de um radiômetro absoluto de banda larga no Brasil e nessa fase está sendo construído um demonstrador de conceito. Para isso estamos empregando um modelo para o ciclo de vida do desenvolvimento do sistema que descreve as atividades a serem realizadas e os resultados que devem ser produzidos durante o desenvolvimento. Uma primeira versão do elemento sensor com baixa refletância já foi finalizada bem como o desenvolvimento de metodologias para a sua caracterização óptica.

## REFERÊNCIAS

BERNI, L. A. *et al.* Preliminary design of the brazilian's national institute for space research broadband radiometer for solar observations. **Proceedings of the international astronomical union**, 2016. v. 12, n. S328, p. 224–226.

BUTLER, J. J. *et al.* Sources of differences in on-orbital total solar irradiance measurements and description of a proposed laboratory intercomparison. **Journal of research of the national institute of standards and technology**, 1 ago. 2008. v. 113, n. 4, p. 187–203.

CARLESSO, F. *et al.* Nickel-phosphorous development for total solar irradiance measurement. **Proceedings of the international astronomical union**, 2016. v. 12, n. S328, p. 221–223.

ERMOLLI, I. *et al.* Recent variability of the solar spectral irradiance and its impact on climate modelling. **Atmospheric chemistry and physics**, 2013. v. 13, n. 8, p. 3945–3977.

KOPP, G. *et al.* The tsi radiometer facility - absolute calibrations for total solar irradiance instruments. **Proc. spie**, 2007. v. 6677, p. 667709.

KOPP, G. **Driving solar measurements**. São José dos Campos: LASP, 2014.

KOPP, G. Magnitudes and timescales of total solar irradiance variability. **Journal of space weather and space climate**, 2016. v. 6, n. 27, p. A30.

KOPP, G.; LAWRENCE, G. The total irradiance monitor (tim): instrument design. **The solar radiation and climate experiment (sorcer): mission description and early results**, 2005. p. 91–109.

MENEZES, R. T. De. **Desenvolvimento de instrumentação aplicada ao estudo da atividade solar**. São José dos Campos: Instituto nacional de Pesquisas Espaciais, 2017.

PARR, A. C.; DATLA, R. U.; GARDNER, J. **Optical radiometry**: Academic Press, 2005.

VIEIRA, L. E. A. *et al.* Evolution of the solar irradiance during the holocene. **iaap**, 2011. v. 531, p. A6.

WALTER, B. *et al.* The clara / norsat-1 solar absolute radiometer : instrument design , characterization and calibration. **Metrologia**, 2017. v. 54, n. 5, p. 674–682.

## **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 978-85-7247-067-4



9 788572 470674