

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

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 CO₂, 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 CO₂, 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 CO₂.

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 CO₂ 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

CAPÍTULO 1	10
UMA REVISÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS ATUAIS	
Alexandre José Bühler Ivan Jorge Gabe Fernando Hoefling dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.6671922011	
CAPÍTULO 2	26
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	
DOI 10.22533/at.ed.6671922012	
CAPÍTULO 3	41
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	
DOI 10.22533/at.ed.6671922013	
CAPÍTULO 4	58
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	
DOI 10.22533/at.ed.6671922014	
CAPÍTULO 5	72
AEROPORTO DE VITÓRIA/ES: ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
Ana Luiza Guimarães Valory Sidney Schaeffer Warley Teixeira Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.6671922015	
CAPÍTULO 6	87
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	
DOI 10.22533/at.ed.6671922016	

CAPÍTULO 7	1043
ANÁLISE HARMÔNICA NOS INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Alessandro Bogila	
Joel Rocha Pinto	
Thales Prini Franchi	
Thiago Prini Franchi	
DOI 10.22533/at.ed.6671922017	
CAPÍTULO 8	120
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	
DOI 10.22533/at.ed.6671922018	
CAPÍTULO 9	139
ANÁLISE FINANCEIRA DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA FINANCIADOS EM PALMAS - TO	
Brunno Henrique Brito	
Maria Lúcia Feitosa Gomes de Melo	
DOI 10.22533/at.ed.6671922019	
CAPÍTULO 10	152
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220110	
CAPÍTULO 11	165
APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT) EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Augusto Hafemeister	
João Batista Dias	
Leonel Augusto Calliari Poltosi	
DOI 10.22533/at.ed.66719220111	
CAPÍTULO 12	181
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220112	
CAPÍTULO 13	194
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

CAPÍTULO 19	284
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220119	
CAPÍTULO 20	297
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Stéphane Rodrigues da Silva	
Érica Tiemi Anabuki	
Luis Cláudio Gambôa Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.66719220120	
CAPÍTULO 21	312
DO PETRÓLEO À ENERGIA FOTOVOLTAICA: A INSERÇÃO DO BRASIL NESTE NOVO MERCADO	
Emilia Ribeiro Gobbo	
Maria Antonia Tavares Fernandes da Silva	
Rosemarie Bröker Bone	
DOI 10.22533/at.ed.66719220121	
CAPÍTULO 22	330
EFEITO DO SOMBREAMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
José Rafael Cápua Proveti	
Daniel José Custódio Coura	
Carlos Roberto Coutinho	
Adriano Fazolo Nardoto	
DOI 10.22533/at.ed.66719220122	
CAPÍTULO 23	342
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220123	
CAPÍTULO 24	354
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220124	

CAPÍTULO 25	367
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220125	
CAPÍTULO 26	379
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220126	
CAPÍTULO 27	398
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220127	
CAPÍTULO 28	410
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220128	
CAPÍTULO 29	422
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	
DOI 10.22533/at.ed.66719220129	
SOBRE O ORGANIZADOR	431

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

danilocgou@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Programa de Pós Graduação em Sistemas de
Energia

Jeanne Moro

jeannemoro@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil

Muza Iwanow

mu.iwanow@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Programa de Pós Graduação em Sistemas de
Energia

Rebecca Avença

re.utfpr@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Programa de Pós Graduação em Sistemas de
Energia

Jair Urbanetz Junior

urbanetz@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

são os métodos para obtenção de estimativas de energia destes sistemas. Este estudo tem por objetivo realizar a comparação entre os resultados de estimativas de energia gerada e os dados reais obtidos num sistema fotovoltaico na cidade de Curitiba através de três métodos distintos: SWERA, base de dados do INMET e mapa fotovoltaico do Estado do Paraná. Os resultados obtidos com a Base de Dados do INMET foi o que mais se aproximou dos dados reais do sistema fotovoltaico em operação (variação de 0,5%), enquanto que os métodos que utilizam a base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar apresentaram maior desvio (14,3%, 15,9% e 22,3%). Estas diferenças são justificadas pelo fato de que os dados oriundos do Atlas são uma média de valores ao longo de 10 anos de medições considerando anos típicos e atípicos e os dados do INMET são dados medidos por uma estação solarimétrica em um período de tempo menor na mesma região da geração de energia do sistema fotovoltaico em estudo. Conclui-se que o sistema de base dados do INMET é o que apresenta a melhor fidelidade aos resultados reais de geração de energia e pode ser utilizado para aferição da geração do sistema fotovoltaico após sua instalação. Entretanto, para questões de projeto e dimensionamento, é recomendável ainda se utilizar a base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, pois está baseado em um

RESUMO: Devido a crescente demanda energética as fontes alternativas de geração de energia vêm ganhando espaço cada vez mais. A geração fotovoltaica tem grande potencial no Brasil devido a sua localização, estando em sua maior parte na região intertropical. Vários

período de referência maior do que os dados do INMET (10 anos contra 4 anos), o que representa erros menores em longo prazo devido às variações climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar Fotovoltaica, Atlas Brasileiro de Energia Solar, Geração de Energia.

ABSTRACT: Due to the increasing energy demand, the alternative energy generation sources are becoming more popular. Because of its location, mostly an intertropical country, the photovoltaic generation in Brazil has a remarkable potential. The approaches to estimate these systems' energy are many. This paper aims to compare the estimated generated energy and data from a real system, based in Curitiba, using three different methods: SWERA, INMET database and Paraná's photovoltaic maps. The results obtained using the INMET database were the closest to the existing photovoltaic system (deviation of 0.5%), while the results obtained using the maps (Atlas Brasileiro de Energia Solar) had the greatest deviations (14.3%, 15.9% and 22.3%). The differences are explained as a reflex of the data acquisition: the maps data is an average, considering the last 10 typical and atypical years, of energy measures while INMET data is obtained in a solarimetric station in the studied real system's location, during a shorter period. Hence, the INMET database, that shows closest results to the real system's behavior, can be used to calibrate the installed photovoltaic system after its installation. However, for design and project purposes, it is still recommendable to use the Atlas Brasileiro de Energia Solar database, since its data has been collected for a wider period than the INMET database (4 years of data). It represents better the climate variations, which induces less deviation in the long term.

KEYWORDS: Photovoltaic Solar Energy, Atlas Brasileiro de Energia Solar, Power Generation.

1 | INTRODUÇÃO

A demanda energética no mundo é crescente, o que também inclui o Brasil. Segundo Pereira et al. (2006) o aumento da demanda energética em conjunto com a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente estão impulsionando a comunidade científica a pesquisar fontes de energia alternativas que sejam menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental.

Os primeiros estudos sobre energia solar datam da década de 50 com as primeiras tentativas de implantação de um centro de pesquisa em energia solar, mas somente na década de 70 em decorrência da crise do petróleo, é que houveram grandes incentivos na pesquisa de fontes alternativas de energia (Tiepolo, 2015).

A energia fotovoltaica apresenta um grande potencial de aproveitamento da energia solar no Brasil por ser um país localizado em sua maior parte na região intertropical (Pereira et al., 2006). O sistema fotovoltaico é composto por células

fotovoltaicas que transformam a energia solar diretamente em energia elétrica, sem emissão de gases, sem necessidade de partes móveis e silenciosamente, utilizando o sol que é uma fonte de energia limpa, renovável e virtualmente inesgotável. As células, devidamente interligadas e acondicionadas, formam os módulos fotovoltaicos, os quais são normalmente reunidos em painéis para constituir um sistema gerador fotovoltaico (Viana et al., 2007).

Uma das primeiras iniciativas no Brasil em pesquisas de energia solar foi a criação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e de 20 estações da Rede Solarimétrica Nacional que passaram a operar a partir de 1977, sendo duas delas no estado do Paraná: uma em Curitiba (Latitude Sul 25° 26'; Longitude Oeste 49° 16'), e outra em Foz do Iguaçu (Latitude Sul 25° 33'; Longitude Oeste 54° 34') (Ferreira, 1993 *apud* Tiepolo, 2015).

Em 1996, com a utilização de modelo computacional e utilizando informações derivadas de imagens do satélite, com dados entre o período de 1985 e 1986, são geradas cartas solares para as médias mensais da soma diária global e difusa da radiação solar em MJ/m².dia para os meses de dezembro a fevereiro e de junho a agosto, onde esses períodos coincidem com overão e inverno no hemisfério sul, respectivamente. A continuação deste estudo em 1998 resultou com a publicação do “Atlas de irradiação solar do Brasil”, sendo a 1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície. Elaborado pelo LABSOLAR/NCTS (Laboratório de Energia Solar/Núcleo de Controle Térmico de Satélites) e DGE/INPE (Divisão de Geofísica Espacial/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), este trabalho apresenta o mapa anual e os mapas mensais de irradiação global, média diária (Tiepolo, 2015).

A obtenção de uma estimativa da irradiação solar incidente na superfície utilizando o modelo BRASIL- SR está atrelada a três conjuntos principais de informações: a) valores climatológicos de temperatura, visibilidade, umidade relativa e albedo de superfície; b) dados digitais extraídos de imagens de satélite; e, c) aplicação do “Método de Dois-Fluxos” (Martins, 2001 *apud* Martins *et al.*, 2005) para solução da equação de transferência radiativa na atmosfera (Martins *et al.*, 2005), conforme mostra a Fig. 1.

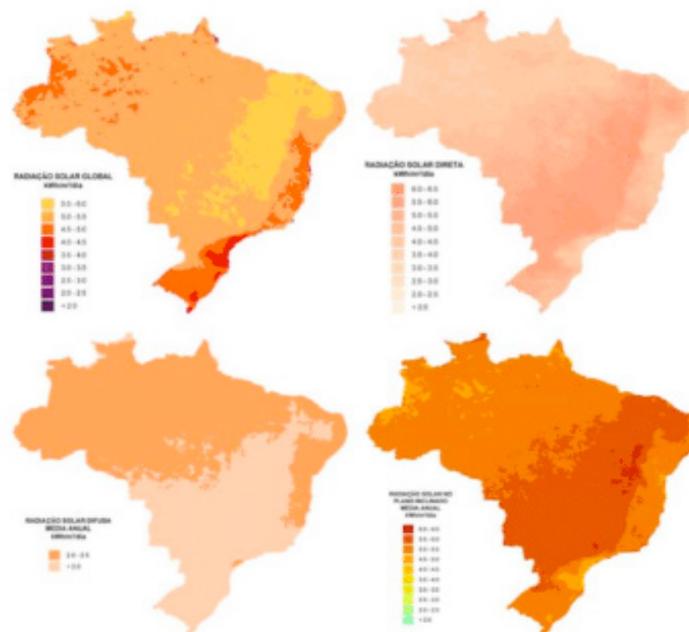


Figura1 - Mapas de irradiação solar média anual para o território brasileiro obtidos com o uso do modelo BRASIL-SR a partir de dados climatológicos e imagens de satélite GOES-8 para o ano de 2000: (A) irradiação global, (B) irradiação direta, (C) irradiação difusa e (D) irradiação global em plano inclinado em ângulo igual à latitude local.

Fonte: Martins *et al.*, 2005

O Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado em 2006, mostra a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro (Fig. 2), levando-se em consideração os dados de irradiação obtidos no período entre 1995 e 2005 (Tiepolo *et al.*, 2014).

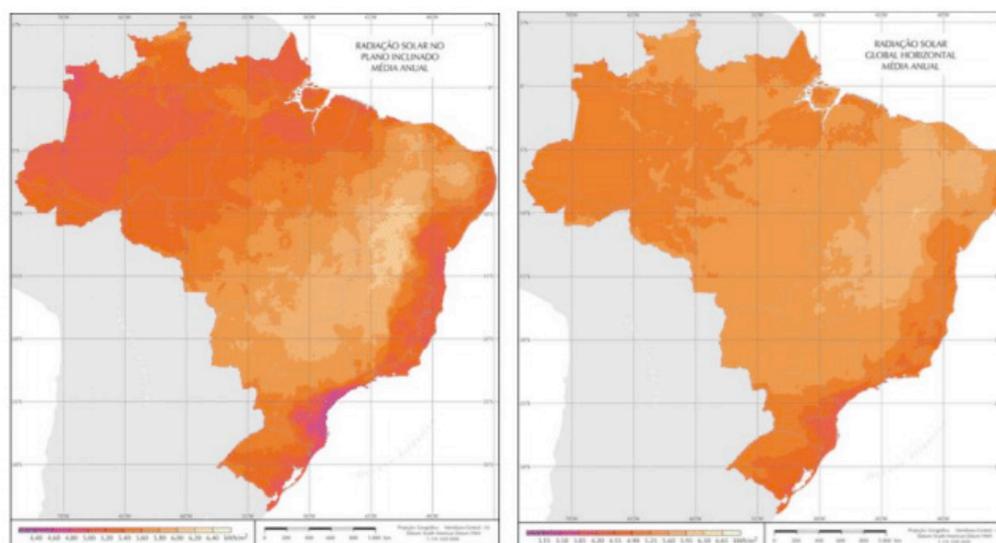


Figura 2 - Mapas de irradiação solar média anual horizontal e no plano inclinado para o território brasileiro

Fonte: Pereira *et al.*, 2006

Uma das dificuldades encontradas pelos pesquisadores na área de fotovoltaica

é a realizar a comparação entre os mapas elaborados com mapas de outros países ou regiões. Nem sempre esta comparação é visualmente fácil, devido à diferença entre as escalas e cores utilizadas para representar os níveis de irradiação nos vários mapas existentes em países ou regiões de diferentes continentes. Com isto, foram elaborados os Mapas Fotovoltaicos do Estado do Paraná com o Total Anual e com a Média Diária Sazonal (Fig. 3) considerando os mesmos critérios utilizados pela European Commission para elaboração dos Mapas Fotovoltaicos para a Europa. (Tiepolo et al., 2014).

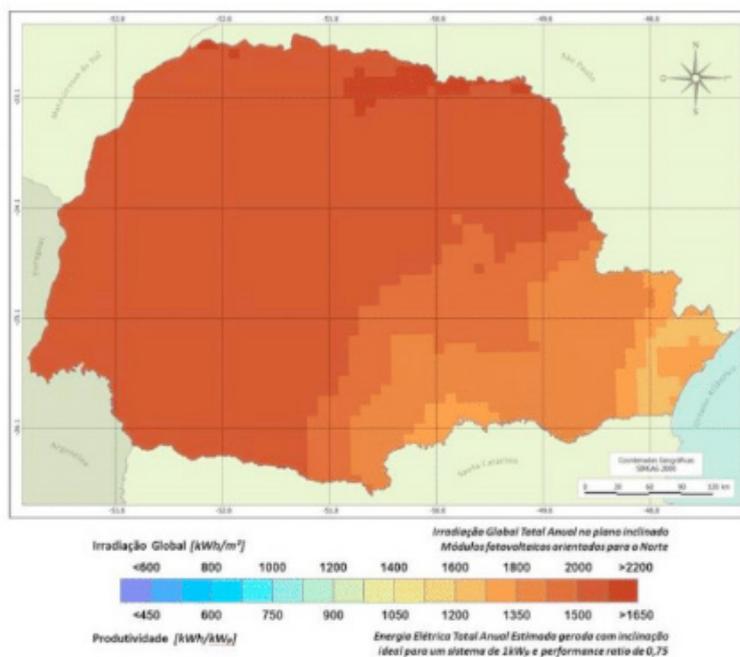


Figura 3 - Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná – Valores de Irradiação Global no Plano Inclinado, e de Produtividade em kWh/kWp para TD 0,75 - Total Anual

Fonte: Tiepolo *et al.*, 2014

Este artigo tem como finalidade comparar os resultados de estimativa de energia gerada do sistema fotovoltaico instalado em Curitiba a partir de diferentes bases de dados de irradiação solar.

2 | METODOLOGIA

Para este artigo científico foi utilizado o método de investigação estudo de caso, aplicado a um sistema fotovoltaico conectado a rede de 2,4 kWp localizado na cidade de Curitiba. Adotou-se esse método, pois se trata de uma análise de um caso empírico particular e de realidade delimitada, sendo considerados três aspectos fundamentais: a natureza da experiência, o conhecimento que se pretende alcançar e a possibilidade de generalização de estudos a partir do método.

Realizou-se a comparação e avaliação dos valores reais de energia elétrica gerada no último ano por esse sistema com estimativas de geração de energia obtida

a partir de três bases de dados: INMET (2012-2015), Atlas Brasileiro de Energia Solar (1995 - 2005) e Projeto SWERA, este com correção do ângulo de inclinação no software RADIASOL.

2.1 Objeto de Estudo

Foi escolhido um sistema fotovoltaico conectado a rede (SFVCR) instalado na região de Curitiba com um ano de operação ininterrupta (Fig. 4). Os dados foram coletados do site da empresa *Solar Energy*, fabricante do inversor.



Figura 4 – Imagem do objeto de estudo

VI Congresso Brasileiro de Energia Solar–Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016

O sistema escolhido é composto por um painel de potência de 2,4 kWp, localizado nas coordenadas de latitude $-25,43^\circ$ e longitude $-49,30^\circ$ com desvio azimutal nulo pois está orientado para o norte geográfico e inclinação do telhado de 24° .

A geração mensal produzida pelo sistema fotovoltaico está disponível no site do fabricante através do sistema de medição e monitoramento web que fornece a geração mês a mês, dentre outros dados de medição (Fig. 5).

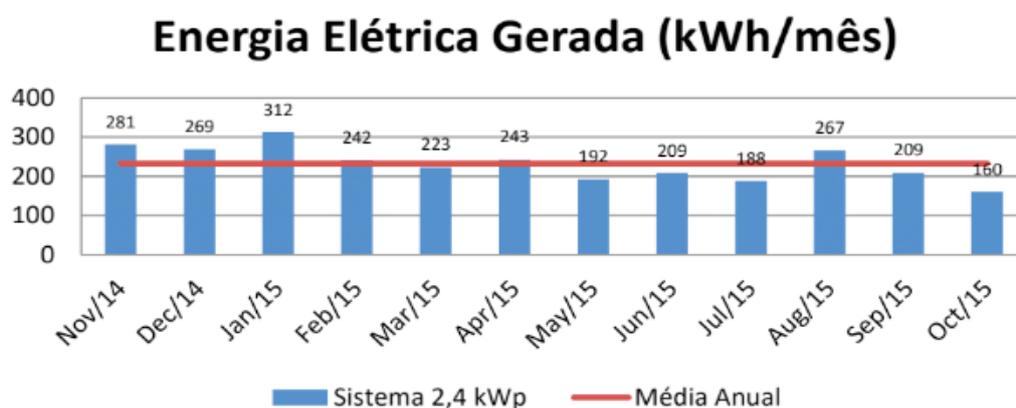


Figura 5 – Dados de energia elétrica gerada no local de estudo

Fonte: Adaptado *Solar Energy*, 2015

Foram utilizados três métodos de análise de energia elétrica gerada como premissas do sistema com a finalidade de constatar qual método apresenta resultados mais próximos da realidade.

2.2 Método 1– Base de Dados Projeto SWERA

Neste método, o primeiro procedimento adotado foi encontrar o ponto mais próximo disponibilizado no Atlas Brasileiro de Energia Solar. O ponto está a uma distancia de 3 km das coordenadas do sistema fotovoltaico instalado. Utilizando então o banco de dados no plano global horizontal deste ponto foi utilizado o programa RADIASOL para fazer o ajuste da inclinação do telhado para 24°.

Para o cálculo da energia elétrica gerada com os dados do SWERA considerando o desvio azimutal calculado através do RADIASOL, foi utilizada Eq. (1):

$$E = \frac{P_{fv} * H_{tot} * PR}{G} \quad (1)$$

Onde:

P_{fv} : potência do sistema fotovoltaico [Wp];

H_{tot} : valor da irradiação [kWh/m².dia];

PR: Taxa de Desempenho ou *Performance Ratio*;

G_{stc} : irradiância solar na condição STC (1000 W/m², temperatura ambiente de 25°C, e Massa de Ar de 1,5).(ROCHA , 2014).

A potência do sistema fotovoltaico adotada para realizar a comparação dos diferentes dados com a geração real obtida na casa foi a potência de 2,4 kWp.

Para o cálculo da irradiação no plano inclinado, foi utilizado o software RADIASOL. Como resultados foram obtidos os valores de irradiação à 24° (Tab. 1).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
5,50	5,46	5,29	4,55	3,80	3,74	3,95	4,90	4,59	5,11	5,82	5,69	4,867

Tabela 1 – Valores de Irradiação com ajuste na inclinação de 24° [kWh/m².dia]

Para o cálculo do potencial fotovoltaico foi considerado a Taxa de Desempenho utilizada na elaboração de mapas fotovoltaicos na Europa que é 75% ou 0,75 (TIEPOLO *et al.*, 2014).

2.3 Método 2 – Base de Dados INMET

A segunda análise se deu através da base de dados do INMET. Os valores

foram obtidos através do tratamento dos dados de irradiância disponibilizados pelo INMET diariamente a cada 15 minutos. Os dados pesquisados se concentraram na estação solarimétrica A807 localizada na região metropolitana de Curitiba no período de novembro de 2012 a outubro de 2015. Para efeito de posterior comparação, considerando que o piranômetro da estação A807 está instalado na horizontal, estes dados de irradiância foram convertidos em irradiação média diária mensal para uma inclinação de 24°, mantendo desvio azimutal 0°, através do *software* RADIASOL (Tab. 2). Com esses resultados, foram obtidos os valores de irradiação média diária, mensal e anual no plano de estudo.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
5,71	5,02	4,40	3,73	2,96	2,58	2,90	4,07	4,14	4,76	5,23	5,48	4,24

Tabela 2 – Valores de Irradiação média (H_{TOT})

2.4 Método 3 – Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná

O método 3 estima a energia elétrica gerada através do Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná (Fig. 3), elaborado a partir dos dados de irradiação do ATLAS 2006.

A escala de cores representa na parte superior os valores de irradiação global anual no plano inclinado e com os módulos orientados para o norte geográfico, enquanto na parte inferior são apresentados os valores correspondentes de energia elétrica anual estimada, gerada por um sistema de 1kWp e com *Performance Ratio* (PR) de 0,75 (TIEPOLO et al., 2014).

3 | RESULTADOS

Para calcular a energia elétrica gerada estimada a partir do método 1, onde os dados de irradiação foram obtidos através do banco de dados do projeto SWERA, aplicou-se os dados de irradiação obtidos (Tab. 1) à Eq. 1 e chegou-se a uma estimativa média de energia gerada de aproximadamente 266,35 kWh/mês (Fig. 6). Considerando que o sistema opere todos os dias do ano, a estimativa anual de energia elétrica gerada é de 3,196MWh/ano.

Energia Elétrica Gerada (kWh/mês)

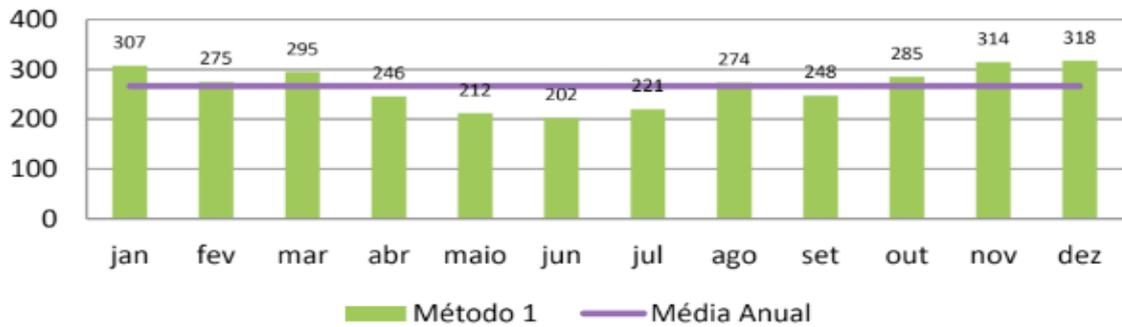


Figura 6 – Energia Elétrica Gerada no objeto de estudo através dos dados de irradiação do projeto SWERA

Fonte: Autor

Utilizando o segundo método, Base de dados de irradiação do INMET, os dados de irradiação média obtidos (Tab.2), assim como no método 1, foram aplicados na Eq. (1) para o cálculo da estimativa de energia elétrica gerada. Obteve-se como resultado a estimativa de 231,75 kWh/mês de energia gerada (Fig. 7). Para o período de um ano a estimativa de energia elétrica gerada é de 2,781MWh/ano.

Energia Elétrica Gerada (kWh/mês)

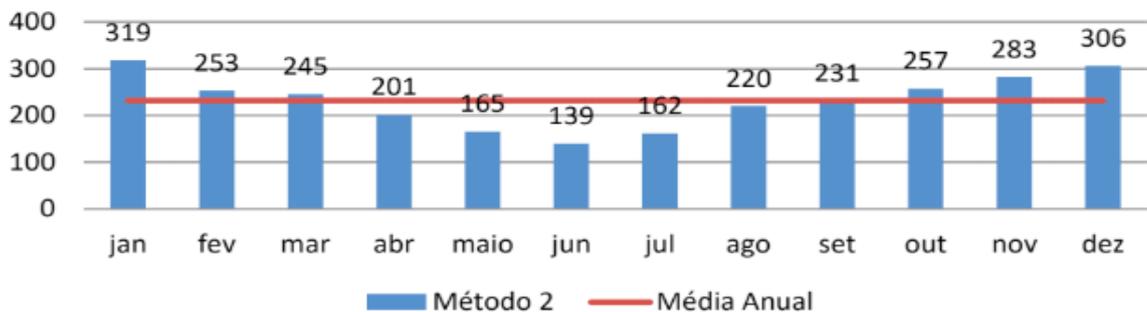


Figura 7 – Energia Elétrica Gerada no objeto de estudo através dos dados de irradiação da Base de dados do INMET

Fonte: Autor

Quanto ao método 3, considerando o Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná (Fig. 3), os valores estimados de produtividade, que é a energia elétrica diária média gerada com inclinação ideal para um sistema de 1kWp e *Performance Ratio* (PR) de 0,75, variam entre 1350 kWh/kWp (menor valor gerado para um dia médio) e 1425 kWh/kWp (maior valor gerado para um dia médio), estes valores podem ser observados na escala de cores da Fig. 3.

Seguindo a premissa de um sistema fotovoltaico conectado a rede de potência de 2,4 kWp, a geração elétrica anual do sistema está entre 3.240 kWh/ano (mínimo) e 3.420 kWh/ano (máximo) para a região representada. Destaca-se que os dados são

referentes à inclinação ideal do sistema conectado a rede, cuja inclinação é igual à latitude, ou seja, para a cidade de Curitiba é de 25°.

4 | CONCLUSÕES

Ao se calcular a geração estimada de energia elétrica com os diferentes métodos apresentados neste estudo, pode-se concluir que os métodos apresentaram diferentes resultados (Fig. 8).

Comparando os resultados obtidos com os dados reais do sistema fotovoltaico em operação (Fig. 4), o método 2 – Base de Dados do INMET, foi o que mais se aproximou dos dados reais, com uma variação de 0,54%. Já os métodos 1 e 3 que utilizam a base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar apresentaram um maior desvio: 14,3% referente ao método 1 e 15,9% e 22,3% quanto aos valores mínimo e máximo do método 3, respectivamente.

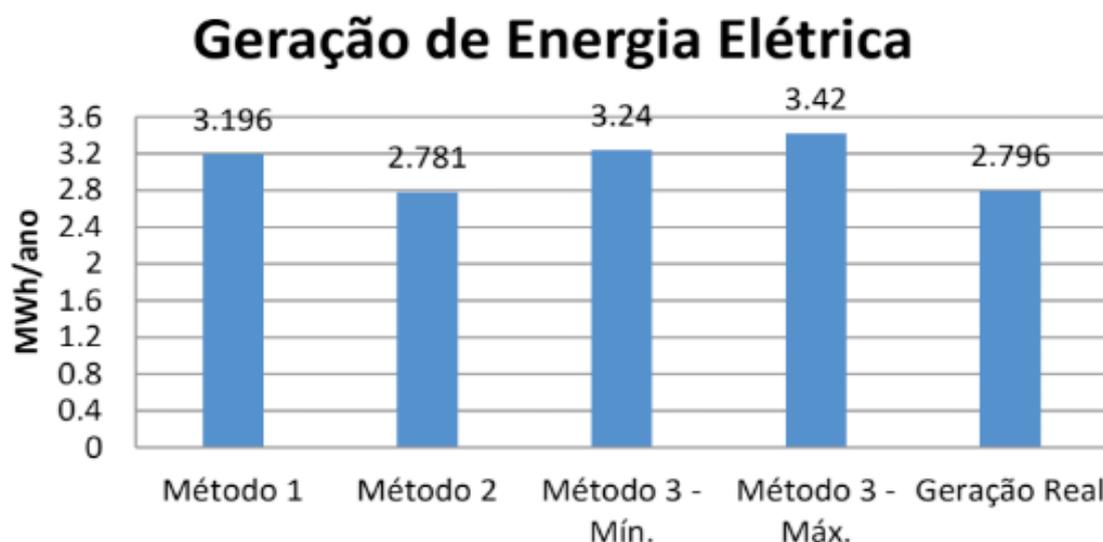


Figura 8 – Gráfico comparativo das estimativas de geração de energia nos diferentes métodos e a geração real

Fonte: Autor

Os resultados dos métodos 1 e 3 que utilizam como base de dados o Atlas Brasileiro de Energia Solar indicam maior diferença entre o resultado real, pois os dados do projeto SWERA são uma média de valores ao longo de 10 anos de medições considerando anos típicos e atípicos e as estimativas de geração devem-se à utilização da média dos valores de energia elétrica gerada para um dia médio da região.

Segundo Pereira (2006), a região Sul do Brasil apresenta a maior variabilidade inter anual, com as médias anuais variando entre 4,6 e 6,0kWh/m², o que representa uma faixa de 30 % de desvio na mesma região. As previsões de geração dos métodos 1 e 3 estão dentro dessa faixa aceitável.

O método 3 é um mapa visual do Atlas Brasileiro de Energia Solar. Assim, tem-se uma faixa de valores de produtividade para determinada região, o que justifica a diferença de resultados entre o método 1 (pontual) e método 3 (visual). No sistema fotovoltaico em estudo, na região de Curitiba a geração está entre 3.240 kWh(menor valor gerado) e 3.420 kWh(maior valor gerado).

Há ainda que se considerar que no método 1, o ponto mais próximo mapeado pelo projeto SWERA encontra-se a 3 km de distância do local onde o sistema fotovoltaico está instalado. Além disto, este ponto é originado através de modelos computacionais para determinar a estimativa da radiação solar incidente indicado por Pereira et al.,2006 (2006).

O método 2 foi o que mais se aproximou do valor real, principalmente devido aos dados do INMET serem dados medidos por uma estação solarimétrica situada também em Curitiba e que fornece medições do valor real da irradiação a cada 15 minutos. Há de se considerar ainda que os períodos utilizados para comparação foram similares.

Portanto, conclui-se que o sistema de base dados do INMET é o que apresenta a melhor fidelidade aos resultados reais de geração de energia e pode ser muito bem utilizado para aferição da geração do sistema fotovoltaico após sua instalação. Entretanto, para questões de projeto e dimensionamento, é recomendável ainda se utilizar a base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, pois está baseado em um período de referência maior do que os dados do INMET (10 anos contra 4 anos), o que representa erros menores em longo prazo devido às variações climáticas.

5 | REFERÊNCIAS

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L. de; Colle, S. Mapas de irradiação solar para o Brasil – resultados do projeto Swera. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3137-3145.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R. Atlas brasileiro de energia solar. 1ª Edição. São José dos Campos. 2006.

ROCHA, A. V. Energia Solar Fotovoltaica Unidade III – Módulos Fotovoltaicos. Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/alexandrorocha/energias-renovaveis/energia-solar-fotovoltaica/energia-solar-unidade-3_1-modulos-fotovoltaicos> Acesso em: 01 de Dezembro de 2015

SOLAR ENERGY. Dados de monitoramento do sistema fotovoltaico instalado. Disponível em: <http://monitor.solarenergy.com.br/dashboard/Default2.aspx?ID=1756fd05-4023-417b-b118-a92f999dcd29>. Acessado em Novembro/2015

TIEPOLO, G. M.; CANGIOLIERI JR, O.; URBANETZ JR, J.; VIANA, T.; PEREIRA, E. B.; comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha. V Congresso Brasileiro de Energia Solar – Recife, 31 a 03 de abril de 2014.

TIEPOLO, G. M. Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná. Tese de Doutorado. Curitiba/PR. 2015

VIANA, T. S.; ZOMER, C. D.; NASCIMENTO, L.; RÜTHER, R. Centro de eventos da UFSC: integração de sistemas fotovoltaicos à arquitetura. IX Encontro nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC. Ouro Preto. 2007.

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

