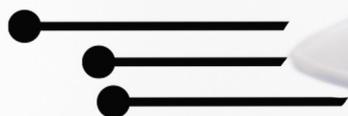


**Luís Fernando Paulista Cotian**  
**(Organizador)**

# **Engenharias, Ciência e Tecnologia 3** .....



**Luís Fernando Paulista Cotian**  
(Organizador)

# **Engenharias, Ciência e Tecnologia**

## **3**

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 Lorena Prestes

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)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 3 [recurso eletrônico] / Organizador  
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena  
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-086-5

DOI 10.22533/at.ed.865193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.  
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

**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

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume III apresenta, em seus 11 capítulos, conhecimentos relacionados a Gestão Energética relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Gestão de Recursos Naturais e Produção mais Limpa e Ecoeficiência.

A área temática de Gestão Energética trata de temas relevantes para a geração, manutenção e gerenciamento de assuntos relacionados à energia elétrica. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de Gestão Energética, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Gestão Energética e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1 ..... 1**

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ALTA CONCENTRAÇÃO NO NORDESTE BRASILEIRO

*Hugo Tavares Vieira Gouveia*  
*Luiz Fernando Almeida Fontenele*  
*Rodrigo Guido Araújo*

**DOI 10.22533/at.ed.8651931011**

### **CAPÍTULO 2 ..... 19**

CONFLITO ENTRE ENERGIA ASSEGURADA E HIDROGRAMA AMBIENTAL: O RIO SÃO FRANCISCO ESTÁ MORRENDO?

*Paulo Roberto Ferreira de Moura Bastos*  
*Mônica Silveira*

**DOI 10.22533/at.ed.8651931012**

### **CAPÍTULO 3 ..... 35**

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITORAÇÃO CONTÍNUA POR ANÁLISE DE IMAGEM DO ESTADO DE CHAVES DE CIRCUITOS ALIMENTADORES EM SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO

*Lourival Lippmann Junior*  
*Bruno Marchesi*  
*Rafael Wagner*  
*Amanda Canestraro de Almeida*  
*Vanderlei Zarnicinski*  
*Bogdan Tomoyuki Nassu*

**DOI 10.22533/at.ed.8651931013**

### **CAPÍTULO 4 ..... 54**

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE PILHA A COMBUSTÍVEL DE ÓXIDO SÓLIDO COM POTÊNCIA DE GERAÇÃO DE 1 KW

*Gabriel Leonardo Tacchi Nascimento*  
*Jacqueline Amanda Figueiredo dos Santos*  
*Rubens Moreira Almeida*  
*Tulio Matencio*  
*Rosana Zacarias Domingues*

**DOI 10.22533/at.ed.8651931014**

### **CAPÍTULO 5 ..... 73**

EQUIPAMENTO COM RECONHECIMENTO DINÂMICO DE IMAGEM PARA AVALIAÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA EM CAMPO

*Fernanda Soares Giannini*  
*Ronaldo Borges Franco*  
*Joel Machado Campos Filho*  
*Ricardo Toshinori Yoshioka*  
*Jean Marcos Andery Baracat*  
*José Eduardo Bertuzzo*

**DOI 10.22533/at.ed.8651931015**

<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>87</b>
GERENCIAMENTO ENERGÉTICO PARA MICRORREDES: DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO PILOTO	
<i>Victor Maryama</i>	
<i>Vitor Seger Zeni</i>	
<i>Frederico Viveiros Jordan</i>	
<i>Cesare Quinteiro Pica</i>	
<i>Erlon Cristian Finardi</i>	
<i>Gabriel Aurélio de Oliveira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8651931016</b>	
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>107</b>
INJEÇÃO MÁXIMA DE MW POR GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ALIMENTADOR PRIMÁRIO	
<i>Henrique Mesquita Tonhá</i>	
<i>Romário Pereira Marinho</i>	
<i>Antônio César Baleeiro Alves</i>	
<i>Luis Gustavo Wesz da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8651931017</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>123</b>
SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO O ENERGYPLUS: UMA APLICAÇÃO VOLTADA AOS EDIFÍCIOS INTELIGENTES	
<i>Abraão Gualbeto Nazário</i>	
<i>Raimundo Celeste Ghizoni Teive</i>	
<i>João Zico Oliveira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8651931018</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>137</b>
VIBRATIONAL ENERGY HARVESTING TO ELECTRIC TRANSDUCTION IN A HIGH EFFICIENCY ELECTRIC VEHICLE	
<i>Jólio Ribeiro Maia Neto</i>	
<i>Ícaro Lofego Mota</i>	
<i>João Alexandrino Bemfica Neto</i>	
<i>Douglas da Costa Ferreira</i>	
<i>Fábio Roberto Chavarette</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8651931019</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>141</b>
MAPEAMENTO DA GOVERNANÇA DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	
<i>Tássia Fonseca Latorraca</i>	
<i>Raquel Naves Blumenschein</i>	
<i>Maria Vitória Ferrari</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.86519310110</b>	
<b>CAPÍTULO 11.....</b>	<b>157</b>
OTIMIZAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ENERGIA SOLAR COM O USO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS E REFLETORES MÓVEIS	
<i>Cynthia Beatriz Scheffer Dutra</i>	
<i>Jean Paulo Rodrigues</i>	
<i>Paulo César Sedor</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.86519310111</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>167</b>

## OTIMIZAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ENERGIA SOLAR COM O USO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS E REFLETORES MÓVEIS

### **Cynthia Beatriz Scheffer Dutra**

Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento  
de Metal-Mecânica/Mecatrônica  
Florianópolis – SC

### **Jean Paulo Rodrigues**

Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento  
de Metal-Mecânica/Mecatrônica  
Florianópolis – SC

### **Paulo César Sedor**

Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento  
de Metal-Mecânica/Mecatrônica  
Florianópolis – SC

**RESUMO:** As placas fotovoltaicas utilizadas para transformação da energia solar em energia elétrica não apresentam o seu rendimento nominal devido à variação do ângulo de incidência dos raios solares durante o movimento aparente do sol e devido, principalmente, à existência de nebulosidade. A identificação desta queda na absorção de energia motivou a pesquisa em sistemas de acompanhamento solar com o uso de motor de baixo consumo e controle de baixo custo para posicionamento dos refletores móveis. Neste contexto, este trabalho apresenta estudos de placas fotovoltaicas com concentradores dos raios solares e seguimento solar. Esta pesquisa apresenta de forma analítica e experimental, os rendimentos alcançados, melhorando a relação

custo/benefício com as utilizações dessas técnicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia fotovoltaica. Concentrador solar. Seguidor solar. Heliostato.

**ABSTRACT:** The photovoltaic modules are used to convert solar energy into electrical energy. Because of the presence of clouds or due to the variation of the sunlight angle of incidence during the day, the efficiency of the conversion can be reduced. The identification of this loss of energy absorption motivated the research for solar tracking systems using low-consumption dc motor and low cost system control for positioning of turn reflectors. In this context, this work presents a study related to solar tracking of photovoltaic modules with sunlight concentrators and, considering the analytical and experimental results, shows the improvements in the cost benefit rate of the energy conversion.

**KEYWORDS:** Photovoltaic Energy. Concentrating Solar Power. Solar tracker. Heliostat.

### 1 | INTRODUÇÃO

A conversão da energia solar em energia elétrica é uma alternativa à atual matriz energética mundial, que se baseia,

principalmente, em geração hidráulica e geração térmica. Ambas causam algum tipo de agressão ao meio ambiente, seja pela inundação de áreas potencialmente produtivas (flora) e pela obstrução do caminho migratório/reprodutivo (fauna), seja pela emissão de gases (CO e CO<sub>2</sub>).

A evolução tecnológica teve um rápido crescimento na década de 50 e início da década de 60. As células solares passaram de uma eficiência de 6%, em 1954, para 14,5%, em 1961. Em 1973, os laboratórios COMSAT chegaram a eficiências de 15,2% e, em 1974, os mesmos laboratórios desenvolveram uma célula solar com 17,2% de eficiência, com a criação de superfícies texturizadas (MOEHLECKE, 1996).

Segundo Goetzberg (1998), em 1994, foi desenvolvida uma célula solar baseada em silício monocristalino de alta qualidade. Essa célula foi denominada PERL (Passivated Emitter and Rear Locally Diffused), e atingiu uma eficiência de 24% a um Sol (sem concentração solar).

## 2 | CONDIÇÕES DE NEBULOSIDADE

O principal obstáculo para o aproveitamento da energia solar é a nebulosidade. Para a quantificação da nebulosidade, foram utilizados dados horários obtidos no Aeroporto Hercílio Luz, Florianópolis (GOULART, 1993), durante dez anos (1961 – 1970), ou seja, 87.600 horas (10 x 365 x 24). O valor médio da nebulosidade está mostrado na “Figura 1”.

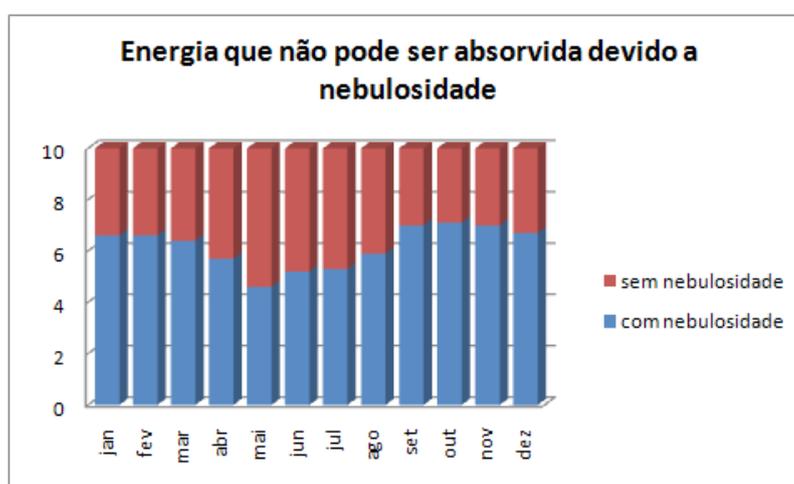


Figura 1 - Energia desperdiçada se não forem utilizados espelho.

Como todos os meses, com exceção de maio, apresentaram nebulosidade média superior a 50%, e a nebulosidade influi diretamente na conversão de energia luminosa em energia elétrica pelas células fotovoltaicas, considera-se muito importante fazer uma análise da influência da nebulosidade na captação de energia pelas células fotovoltaicas.

Em um sistema de captação, sem a utilização de espelhos ou outros processos

de baixa concentração da energia solar, quando a nebulosidade é alta, o valor nominal de aproveitamento de energia de uma determinada placa fotovoltaica não será atingido. Dessa maneira, ocorreria o desperdício da capacidade instalada. Ao se acrescentarem superfícies refletoras ou espelhos que reflitam a energia solar sobre essa placa fotovoltaica, estar-se-á aumentando a incidência de raios solares sobre ela, propiciando, dessa maneira, um aumento da capacidade de geração, otimizando assim a absorção de energia e, conseqüentemente, barateando cada watt gerado.

### 3 | SISTEMA PROPOSTO

A maneira padrão de utilização de placas fotovoltaicas consiste em fixar a placa com uma inclinação desta em relação ao plano horizontal igual ao ângulo da latitude local, voltada para o norte verdadeiro, se a instalação for feita no hemisfério sul, e, ao sul verdadeiro, se for instalada no hemisfério norte.

No sistema proposto manteve-se esse mesmo ângulo e direção de instalação, com a diferença de que a placa pode girar sobre a sua linha central no sentido norte-sul, fazendo, dessa forma, o acompanhamento do sol no sentido leste-oeste, ou seja, do nascer ao pôr do sol. Esse acompanhamento é feito utilizando-se um pequeno motor de corrente contínua, acoplado a um sistema mecânico de redução de engrenagens. O acionamento desse motor se faz por meio de um circuito eletrônico que se utiliza de dois sensores de luminosidade, um inclinado à leste da ortogonal da placa e outro inclinado à oeste, conforme mostrado na “Figura 2”. Dessa maneira, quando a luminosidade à leste está maior que a luminosidade à oeste, o motor desloca todo o conjunto para leste, em busca da obtenção de maior energia. Da mesma maneira, quando a luminosidade à oeste é maior, o motor gira em sentido inverso, movendo o conjunto para oeste. Quando a luminosidade é semelhante dos dois lados, ou com um valor muito próximo, o motor não recebe alimentação e fica parado. Junto à placa fotovoltaica foram fixados dois espelhos, mostrados na “Figura 4”, ambos em ângulo de 120 graus com a placa, de tal maneira que todos os raios solares sobre eles incidentes são refletidos para a placa fotovoltaica, aumentando assim a concentração desses raios, e, conseqüentemente, a energia por ela absorvida.

Como a nebulosidade é causada principalmente pela existência de nuvens, o sistema de posicionamento do conjunto placa- espelhos, utilizando cálculo da posição solar em função da hora, pode nos levar a uma direção menos favorável para a absorção de energia. Ao utilizar sensores de luminosidade, pode-se posicionar, a cada instante, o conjunto placa-espelhos, na direção de maior captação de energia. Selecionando sensores dois LDRs, inseridos em tubos para evitar raios refletidos, orientados para frente e para trás da posição à qual o sistema deve se voltar, conforme mostrado na “Figura 2”.

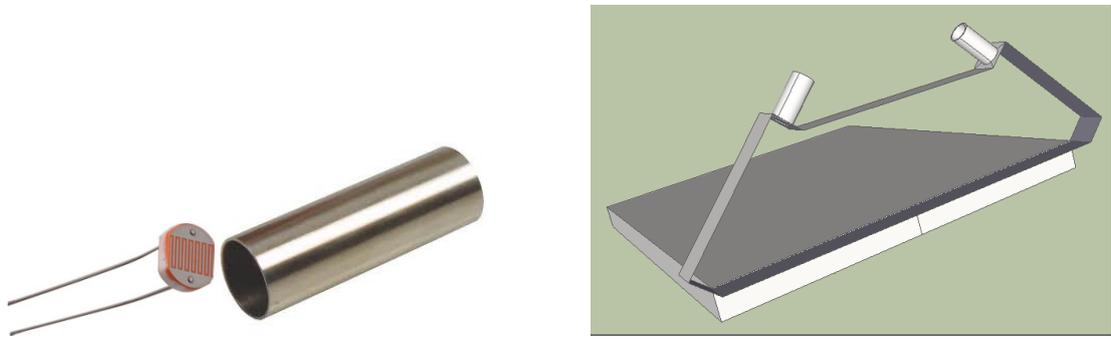


Figura 2 - LDR e tubo direcional e montagem dos sensores na placa.

Um pequeno circuito eletrônico, mostrado na “Figura 3”, compara, com histerese, a diferença entre esses sensores e aciona um motor de corrente contínua com pequena potência, por meio de uma ponte “H”, que desloca, com o auxílio de redutores mecânicos, o conjunto placa-sensores para a melhor posição.

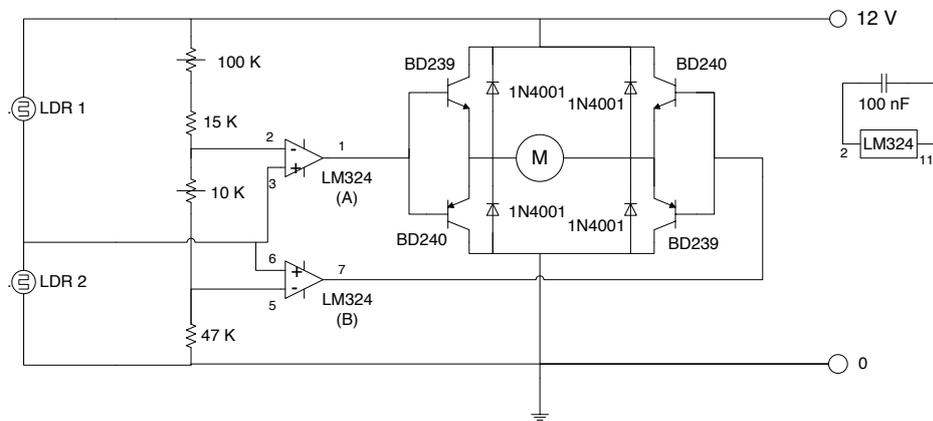


Figura 3 - Circuito eletrônico.

Nunca haverá necessidade de ter grande velocidade na saída final da redução, pois o movimento aparente do sol é sempre lento. Por isto é dimensionado um motor de pequena potência e consumo. A saída do redutor com rosca sem fim é robusta a perturbações de vento, não transmitindo no sentido inverso este distúrbio ao motor.

Propôs-se a montagem da placa fotovoltaica apoiada em um eixo, com regulagem de inclinação em um sentido (sentido norte verdadeiro), para poder adequá-la conforme a latitude do local onde for instalado o sistema. Esse eixo pode girar no sentido leste-oeste, acompanhando o movimento aparente do sol. Fixados à placa em ângulo de  $120^\circ$  estão dois espelhos, com dimensões iguais à placa, conforme a “Figura 4”.

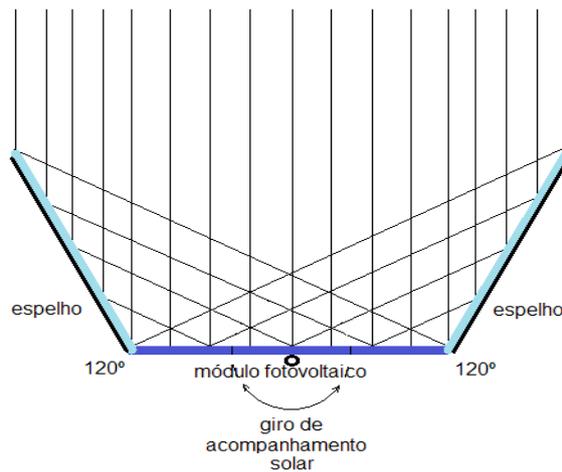


Figura 4 - Desenho da placa com os espelhos.

Dessa forma, como a superfície da placa fotovoltaica está apontando para os raios solares, todos os raios solares incidentes sobre os espelhos atingem a placa.



Figura 5 - Montagem da placa com espelhos.

Na “Figura 5”, pode-se ver o sistema proposto, montado ao lado de uma instalação de referência, que consiste em uma placa fotovoltaica instalada de forma convencional. As medições foram feitas simultaneamente nas duas placas, para se poder comparar o ganho do sistema proposto.

#### 4 | MEDIÇÕES

Os dados mostrados na “Figura 6” são compostos de 115 medições, uma a cada segundo, resultando em 57 conjuntos, com média a cada 2 segundos. Esse primeiro gráfico mostra os dados coletados no princípio da manhã, em torno das 10:30 GMT (08:30 horário local), com o céu coberto por nuvens. Pode-se ver que a geração na placa de referência ficou entre 3,18 e 4,96W, enquanto na placa do sistema proposto

ficou entre 6,16 e 11,10W. O ganho nesse gráfico ficou entre 86,13% e 127,84%.

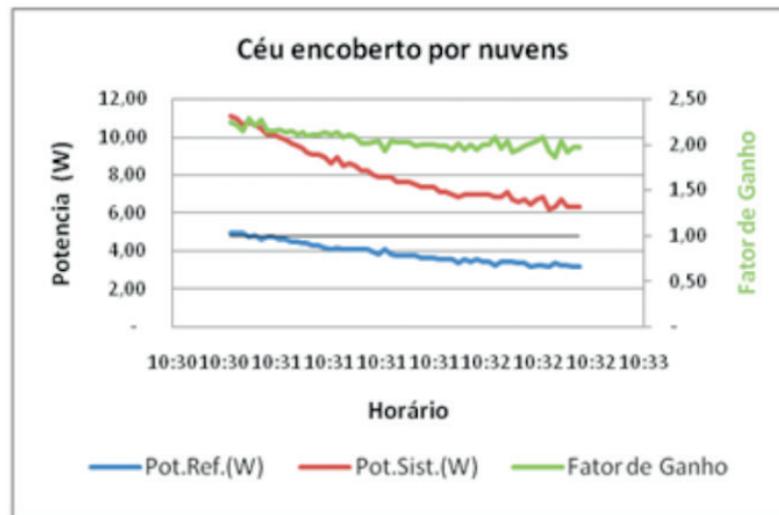


Figura 6 - Céu encoberto por nuvens.

Na “Figura 7”, observa-se uma ligeira abertura do céu no final do período considerado com o conseqüente aumento da geração, tanto da placa de referência como da placa do sistema proposto. Pode-se comprovar que o aumento foi mais significativo na placa do sistema proposto, fazendo o percentual de ganho subir.

#### Céu encoberto, passando à pequenas aberturas de nuvens

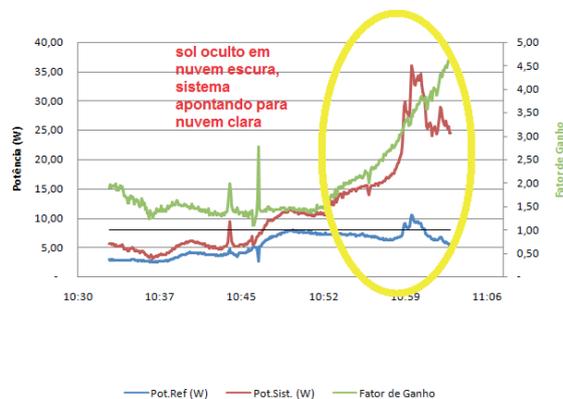


Figura 7 - Aberturas de nuvens, com o sistema apontando para a melhor luminosidade, e não para o sol.

Para esse gráfico foram usadas as medições entre 10:33:30 e 11:03:30 GMT, com um total de 1800 leituras com intervalo de 1 segundo entre elas. Fazendo-se a média a cada 5 segundos, foram gravados e plotados 360 conjuntos de informação.

Os valores no início desse período foram baixos, tanto para a geração de referência, como para a geração do sistema proposto. Mas no final desse período a geração do sistema proposto foi significativamente maior que a geração de referência, apresentando um bom ganho de energia extra absorvida.

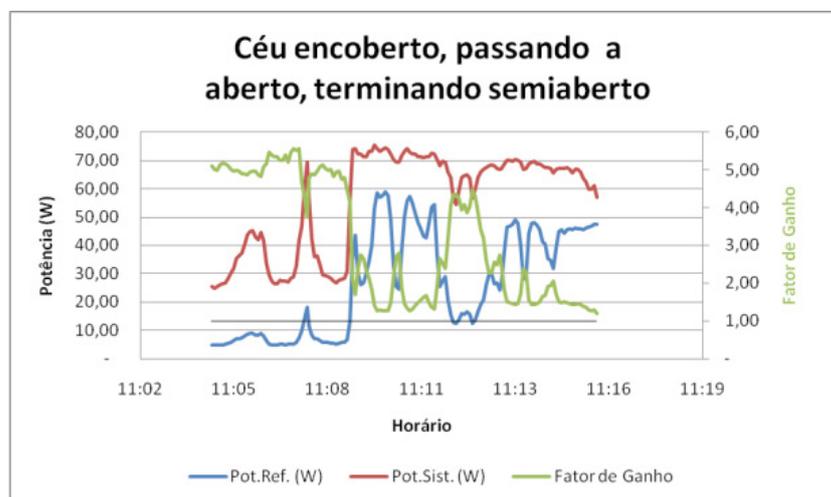


Figura 8 - Céu encoberto, passando a aberto, terminando semiaberto.

A análise da “Figura 8” identifica, no início, uma boa geração no sistema proposto, com um ganho muito alto em relação à geração pela placa de referência. Na região central do gráfico, pode-se visualizar que essa geração aproximasse do limite que a placa pode atingir, com um aumento significativo da placa de referência, fazendo com que o ganho apresente uma forte queda. Em seguida, ao entrarem pequenas nuvens, a geração na placa de referência sofreu uma queda maior que a queda de geração do sistema proposto, fazendo com que o ganho voltasse a subir. No final do gráfico, com nova abertura do céu, voltou a aumentar a geração da placa de referência, enquanto a geração do nosso sistema aproximou-se da saturação da capacidade de geração, com queda do ganho relativo. Às 11:09:35 GMT, quando a geração na placa do sistema proposto atingiu 75,25 W, seu valor máximo no intervalo considerado nesse gráfico, a geração pela placa de referência apresentou um valor de 53,18 W, dando um ganho para nosso sistema de apenas 41,51 %, porém com um ganho significativo de 22,07 W. Por outro lado, às 11:07:05 GMT, enquanto a placa de referência gerava 5,19 W, o sistema proposto gerava 28,84 W, apresentando um ganho de 456,15 %, mas como a geração era baixa o ganho permaneceu próximo ao valor anterior, ou seja, 23,65 W.

Considerando todos os valores medidos, obteve-se um ganho de 78% do sistema proposto sobre a placa de referência.

## 5 | APLICAÇÕES DE DADOS ESTATÍSTICOS

As medições foram feitas por um período que não nos permitiu quantificar o ganho anual, por isso, recorreu-se a dados estatísticos para fazer uma projeção dos dados medidos experimentalmente, em um período de um ano. Utilizou-se como base as variáveis nebulosidade e radiação, nas quais têm-se dados anuais armazenados para regiões próximas ao nosso local de testes.

A nebulosidade foi medida na estação meteorológica do aeroporto Hercílio Luz

de Florianópolis e disponibilizada pelo site do INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Essa medição foi feita por um equipamento que divide a abóbada celeste em oito partes, chamadas octas. De acordo com o número de octas encobertas, a nebulosidade é classificada conforme a Tabela 1.

Classificação	Significado
0/8	Céu limpo ou ensolarado, quando o céu não apresenta nenhum vestígio de nuvens, nenhuma octa está encoberta.
1/8	Céu quase limpo, quando pelo menos uma octa está encoberta.
2/8 3/8	Céu pouco nublado, quando há pelo menos duas octas encobertas.
4/8 5/8	Céu parcialmente nublado, quando há, pelo menos, quatro octas encobertas ou, aproximadamente, metade do céu está encoberto pelas nuvens.
6/8 7/8	Céu quase nublado, quando há no mínimo seis octas encobertas.
8/8	Céu nublado, quando as oito octas do céu estão totalmente encobertas pelas nuvens.

Tabela 1- Classificação da nebulosidade em Octas (INPE).

Utilizando os dados de nebulosidade de todo o ano de 2012, elabora-se o gráfico apresentado na “Figura 9”, que mostra o percentual do tempo em que o céu permanece com a nebulosidade em cada uma das classificações, considerando apenas os dados em que o sol está acima do horizonte.

Considerando todos os dados medidos e extrapolando esses dados para todo o ano de 2012, com base nos valores médios de nebulosidade, calcula-se o ganho anual do sistema proposto em 31% em relação à placa de referência.

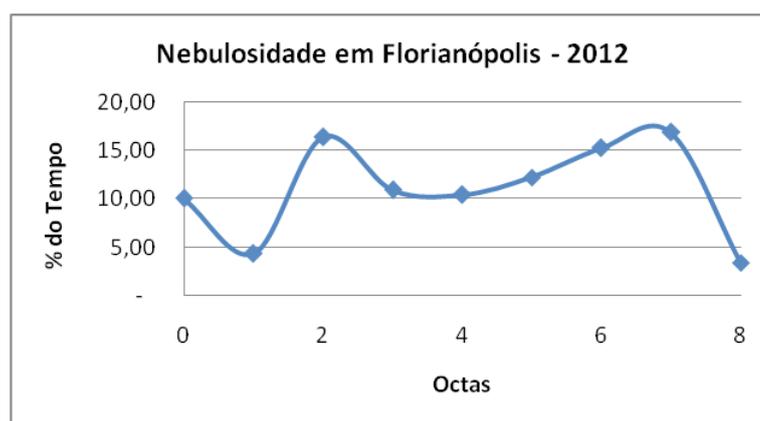


Figura 9 - Percentual do tempo em que o céu permaneceu em cada uma das octas (dados do INPE).

Sabe-se que a classificação da nebulosidade em octas pode causar distorções no resultado final, pois apesar de se dizer quantos oitavos do céu estão encobertos, não faz referência qual parte está nublada, ou seja, se as nuvens estão encobrindo o sol, ou se estão em um local em que não interferem na insolação sobre a placa. Por esta razão, fez-se outra extrapolação, levando em conta os dados de radiação, que

são disponibilizados no site do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, relativos à estação meteorológica de São José - SC. Dessa maneira calcula-se o ganho a longo prazo em 48%, do sistema proposto em relação à placa de referência.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método utilizado para fazer com que o conjunto placa-espelhos faça o acompanhamento solar mostrou-se eficiente. Ao orientar o posicionamento desse conjunto pela intensidade luminosa e não apenas pela posição do sol, obteve-se melhores resultados. Isso pode ser observado nos momentos em que nuvens escuras encobrem o sol e existem nuvens claras por perto. A luminosidade mais forte que chega à placa provém do reflexo dos raios solares nas nuvens claras. O circuito que foi montado detecta esse fato e redireciona o conjunto placa-espelhos para a nova posição. Isso faz com que a potência absorvida seja maior do que aquela que seria absorvida se o conjunto placa-espelhos estivesse diretamente voltada para a direção em que o sol se encontra.

Analisando os resultados obtidos experimentalmente, e suas projeções estatísticas, pode-se concluir que o sistema proposto apresenta um ganho significativo em relação à instalação convencional. Esse ganho torna-se maior quando ocorre formação de nuvens bem definidas, com céu parcialmente nublado, que, de acordo com a classificação de nebulosidade do INPE, fica entre 2 e 7 octas, e ocorre em 82% do tempo em Florianópolis.

O melhor ganho obtido pelo sistema proposto ocorre quando o céu apresenta nuvens em formação irregular, tendo algumas cinza-escuro e outras brancas, com partes do céu aberto, que pode ser classificado entre 4 e 7 octas. Nesse caso o ganho é alto, não apenas em percentual, mas, principalmente, em watts a mais, que podem ser armazenados. Essa configuração de céu ocorre em Florianópolis durante 54 % do tempo.

Já os menores ganhos ocorrem em duas situações. A primeira, nos momentos em que o sol se encontra no zênite, ou seja, no ponto mais alto do céu, e o céu encontra-se totalmente aberto, classificado como 0 octas na classificação do INPE. Os raios solares refletidos pelos espelhos que incidem sobre a placa do sistema comportam uma energia que a placa não tem capacidade de absorver, pelo fato de já estar saturada. Essa situação ocorre em apenas 10 % do tempo.

A segunda, quando o céu está totalmente fechado, com nuvens cinza-escuro, sem variação na sua opacidade, ou seja, 8 octas na classificação do INPE. Como o céu está totalmente fechado, os raios que incidem sobre a placa e os espelhos são muito difusos, vindo de todas as direções do céu. Esse fato faz com que os espelhos acabem causando sombra sobre a placa, diminuindo a captação de energia. Isso ocorre em apenas 3 % do tempo em Florianópolis.

Apresenta-se como principal contribuição do nosso trabalho o método de seguimento solar pela intensidade luminosa, que se diferencia do tradicional método de apontar para o local do céu, onde o sol tem sua posição calculada em função da data e da hora local. O fato de ter-se optado por sensores para apontar nosso sistema para o ponto mais iluminado do céu faz com que a placa e seus espelhos estejam sempre direcionados para o ponto de melhor aproveitamento de energia. Como contribuição secundária indica-se a utilização de espelhos, o que se mostrou muito útil quando o sol se encontra parcialmente encoberto com nuvens, fazendo com que a área virtual de aproveitamento da placa aumente, ou seja, que mais energia solar seja direcionada para a placa fotovoltaica.

Quando se busca uma fonte de energia alternativa, não se deve buscar apenas uma alternativa economicamente eficiente, mas buscar também uma energia limpa, pura, não poluente e, a princípio, inesgotável. A energia solar se enquadra em todas essas características, razão pela qual muitos estudos se fazem necessários para que ela possa, paulatinamente, substituir outras formas de energia que são utilizadas e que, de uma forma ou outra, estão trazendo prejuízos ao nosso planeta.

## REFERÊNCIAS

- EGUREN, J. A., 1981. **Células Solares Bifaciales de Campo de Superfície (BCS)**, Tesis Doctoral, UPM – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Madrid, Espana.
- GOETZBERG, A., KNOBLOCH, J., BERNHARD, V., 1998. **Crystalline Silicon Solar Cells**, John Wiley & Sons LTD. Chichester, England.
- GOULART, S. V. G., 1993. **Dados Climáticos Para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – SC.
- GREEN, M., 1992. **Solar Cells**, Ed. University of New South Wales, Kensington, Austrália.
- LASNIER, F., ANG, T. G., 1990. **Photovoltaic Engineering Handbook**. Adam Hilger, New York, USA.
- MOEHLECKE, A., 1996. **Conceptos Avanzados de Tecnologia para Células Solares com Emissores P+**, Tese de Doutorado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación – IES. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- SÁNCHEZ, M. C., 1989. **Estúdio de los Efectos de Dopaje de Base en Células de Silício. Contribución al Diseño para Distintos Modos de Iluminación**. Tesis Doctoral, UPM – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Madrid, Espana.
- STEM, N., 2007. **Células Solares de Silício de Alto Rendimento: Otimizações Teóricas e Implementações Experimentais Utilizando Processos de Baixo Custo**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Luís Fernando Paulista Cotian**, atualmente é professor magistério superior substituto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR câmpus Guarapuava. Formado em Engenharia de Produção pela Universidade de Franca – SP. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Engenharia Organizacional e Redes de Empresas - EORE. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Otimização e Tomada de Decisão, com previsão de conclusão 2021.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-086-5



9 788572 470865