

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos  
e o ensino-aprendizagem



Milson dos Santos Barbosa  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos  
e o ensino-aprendizagem



Milson dos Santos Barbosa  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



# Ciências exatas e da terra: conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Milson dos Santos Barbosa

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências exatas e da terra: conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem / Organizador Milson dos Santos Barbosa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0422-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.224220408>

1. Ciências exatas - Estudo e ensino. I. Barbosa, Milson dos Santos (Organizador). II. Título.

CDD 507

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A coleção “Ciências exatas e da terra: Conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem” é um e-book que tem o intuito de fornecer *insights* sobre metodologias educacionais e aplicações tecnológicas para fomentar e desenvolver processos e produtos inovadores. O volume reúne estudos teóricos e práticos (revisões bibliográficas, relatos de casos, pesquisas científicas, entre outros) envolvendo cálculos matemáticos e afins para solucionar problemas e beneficiar diretamente a sociedade.

Neste contexto, a obra apresenta de maneira objetiva e didática estudos desenvolvidos por docentes e discentes de diferentes instituições de ensino e pesquisa do país. Os artigos englobam desenvolvimentos recentes no campo das tecnologias, energias renováveis, modelagens e simulações computacionais, algoritmos e softwares, bem como máquinas e equipamentos. Outra direção importante fomentada no e-book é abordagem utilizada para difundir os conhecimentos pedagógicos e o ensino científico nas ciências exatas e da terra.

Questões relevantes para a sociedade moderna são, portanto, debatidas a partir de uma perspectiva crítica, trazendo discussões de temáticas da área e propiciando um conhecimento específico e aprofundado para discentes, docentes e pesquisadores. Deste modo, a obra composta por capítulos que abordam múltiplos temas e com conceitos interdisciplinares da área de ciências exatas e da terra. Diante dessa oportunidade de aprendizagem, convido todos os leitores para usufruírem das produções da coletânea. Tenham uma ótima leitura!

Milson dos Santos Barbosa

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E O ENSINO DE CIÊNCIAS ATRAVÉS DA TECNOLOGIA**

Micheline Soares Costa Oliveira

Letícia Martins Nunes

Letícia de Araújo Rodrigues

Hemilly Sales Alburquerque

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204081>

### **CAPÍTULO 2..... 6**

#### **DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE COMO AÇÃO DE EXTENSÃO: RELATO DE EXPERIÊNCIA**

Luis Fernando Meneghel Benatto

Daniela de Freitas Guilhermino Trindade

Carlos Eduardo Ribeiro

Renata Alfredo

José Reinaldo Merlin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204082>

### **CAPÍTULO 3..... 13**

#### **A CONCEPÇÃO DOS PROFESSORES DE QUÍMICA EM RELAÇÃO À CONTRIBUIÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS ALUNOS**

Tatiana Medeiros Ibiapina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204083>

### **CAPÍTULO 4..... 34**

#### **O ENSINO DE QUÍMICA E CULTURA: CONCEPÇÕES PRESENTES NA REVISTA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Rafael Martins Mendes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204084>

### **CAPÍTULO 5..... 48**

#### **CLASSROOM COMO RECURSO TECNOLÓGICO PARA A EDUCAÇÃO EM MATEMÁTICA**

Mauricio da Silva Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204085>

### **CAPÍTULO 6..... 74**

#### **PRÁTICAS EXPERIMENTAIS SOBRE POLUIÇÃO SONORA**

Maria Lúcia Grillo

Luiz Roberto Perez Lisboa Baptista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204086>

**CAPÍTULO 7..... 83**

**ANÁLISE DE TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA APLICADOS À CLASSIFICAÇÃO DE GRÃOS DE CAFÉ**

Igor Garcia Lube

Gustavo Maia de Almeida

Fidelis Zanetti de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204087>

**CAPÍTULO 8..... 94**

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS ORGÂNICOS E FLEXÍVEIS MECANICAMENTE**

Ana Carolina da Silva Mota

Cleber Lourenço Izidoro

Vagner da Silva Rodrigues

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Oswaldo Hideo Ando Junior

Marco Roberto Cavallari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204088>

**CAPÍTULO 9..... 106**

**SIMULAÇÃO DE ALGORITMOS DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA APLICADOS A PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ORGÂNICOS COM CONVERSOR CC-CC SOB SOMBREAMENTO PARCIAL**

Ana Carolina da Silva Mota

Vagner da Silva Rodrigues

Cleber Lourenço Izidoro

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Oswaldo Hideo Ando Junior

Marco Roberto Cavallari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204089>

**CAPÍTULO 10..... 120**

**IDENTIFICAÇÃO E MODELAGEM DE PLUMAS GASOSAS NA COLUNA D'ÁGUA ATRAVÉS DE MÉTODOS GEOFÍSICOS DE ALTA RESOLUÇÃO**

Jorge Fiori Fernandes Sobreira

Carlos Eduardo Borges de Salles Abreu

Esmeraldino Aleluia Oliveira Júnior

Marcelo Rocha Peres

Marco Ianniruberto

Luciano Emídio da Fonseca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040810>

**CAPÍTULO 11..... 135**

**NUMERICAL SIMULATION OF A CONNECTED-PIPE TEST RAMJET MOTOR**

Douglas Carvalho Cerbino

Olexiy Shynkarenko

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040811>

**CAPÍTULO 12..... 149**

UMA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS E O CAMPO CONCEITUAL DAS ESTRUTURAS ADITIVAS

Grazielle Jenske

Verônica Gesser

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040812>

**CAPÍTULO 13..... 162**

INFLUENCE OF NON-LINEAR DAMPING ON NON-LINEAR STRUCTURES VIBRATIONS

Thiago R. Carvalho

Zénon J. Guzman N. Del Prado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040813>

**CAPÍTULO 14..... 168**

ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM NOSSA SENHORA DA GLÓRIA/SE

José Batista Siqueira

Edson Magalhães Bastos Júnior

José Antônio Pacheco Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040814>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 182**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 183**

## SIMULAÇÃO DE ALGORITMOS DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA APLICADOS A PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ORGÂNICOS COM CONVERSOR CC-CC SOB SOMBREAMENTO PARCIAL

Data de aceite: 01/08/2022

Data de submissão: 13/07/2022

### Ana Carolina da Silva Mota

UNILA – Universidade da Integração Latino Americana  
Foz do Iguaçu – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/0896542799177352>

### Vagner da Silva Rodrigues

UNILA – Universidade da Integração Latino Americana  
Foz do Iguaçu – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/77217191817660433>

### Cleber Lourenço Izidoro

UNILA – Universidade da Integração Latino Americana  
Foz do Iguaçu – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/0896542799177352>

### Jorge Javier Gimenez Ledesma

UNILA - Universidade da Integração Latino Americana  
Foz do Iguaçu – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/9489296690332026>

### Oswaldo Hideo Ando Junior

UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)  
Recife – Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/3515465412634126>

### Marco Roberto Cavallari

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas  
Campinas – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/9041429608835546>

**RESUMO:** Os painéis fotovoltaicos orgânicos (OPV) são formados por células fotovoltaicas individuais de semicondutores orgânicos ligados em série e/ou paralelo. Para que possam ser largamente difundidos no mercado de energia fotovoltaica, é necessário que alguns problemas sejam solucionados, principalmente, em relação ao tempo de vida e a eficiência. O método de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) tem recebido muita atenção como um importante recurso para aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Neste capítulo, é apresentado um estudo de implementação de métodos MPPT para cada linha de OPV, utilizando um circuito composto pelo modelo matemático desta linha, um modelo matemático de um conversor *boost* e a implementação de duas diferentes técnicas de MPPT que atuam sobre o conversor citado. O sistema foi simulado no software MATLAB/SIMULINK, no qual se variou o valor da perturbação do ciclo de trabalho sob diferentes valores de irradiância e com o intuito de compreender o funcionamento de uma única linha OPV perante sombreamento parcial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Células solares orgânicas, MPPT, conversor boost.

SIMULATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHMS APPLIED TO ORGANIC PHOTOVOLTAIC PANELS WITH DC-DC CONVERTER UNDER PARTIAL SHADOWING

**ABSTRACT:** Organic photovoltaic panels (OPV) are formed by photovoltaic cells of organic semiconductors connected in series and/or parallel. Despite being commercially available, the

technology still faces many challenges, mostly related to its lifetime and efficiency. Maximum power point tracking (MPPT) methods have received much attention as an important resource for increasing the efficiency of photovoltaic systems. In this context, this chapter presents the implementation of MPPT methods for OPVs by simulating a circuit composed of the mathematical model of each OPV line, a mathematical model of a boost converter and two different MPPT algorithms. The system was investigated in the MATLAB/SIMULINK software, in which the perturbation of the duty cycle was varied and analyzed under different irradiance values in order to understand the operation of a single OPV line under partial shading.

**KEYWORDS:** Organic photovoltaics, MPPT, boost converter.

## 1 | INTRODUÇÃO

A busca por alternativas de geração de energia que supram o consumo dos mercados mundiais passa pelo desenvolvimento de inovações tecnológicas e procedimentais que aumentem a capacidade de geração e redução de perdas das tecnologias atuais (SANTOS *et al.*, 2021).

Dentre as tecnologias sustentáveis mais difundidas atualmente, encontra-se a energia gerada a partir de painéis fotovoltaicos. Os módulos de silício tomam conta do mercado de energia solar fotovoltaica por conta de sua eficiência e por utilizarem tecnologias de processamento já consolidadas na microeletrônica. Porém, aos poucos, está surgindo a geração de energia fotovoltaica através de compostos orgânicos. O fotovoltaico orgânico (OPV) é uma tecnologia desenvolvida a partir de semicondutores a base de polímeros, pequenas moléculas ou formas alotrópicas do carbono (SANTOS; CAVALLARI; FONSECA, 2015). Para estes fotovoltaicos serem largamente difundidos no mercado da energia, é necessário que alguns problemas sejam solucionados, principalmente, em relação ao tempo de vida e a eficiência do OPV (PASTRANA *et al.*, 2021) (ZANCHIN; CAVALLARI; FONSECA, 2021). Motivado por este cenário, um estudo de implementação de métodos MPPT para cada linha de um painel OPV foi realizada utilizando um circuito composto pelo modelo matemático desta linha, um modelo matemático de conversor *boost* e duas diferentes técnicas de MPPT sobre o conversor.

Neste capítulo, é apresentada a modelagem e simulação no software MATLAB/SIMULINK de um conversor *boost*, bem como os resultados da integração da linha fotovoltaica orgânica, conversor *boost* e algoritmo MPPT implementado para controle do conversor citado.

## 2 | MODELAGEM PARA SIMULAÇÃO DO CONVERSOR BOOST

Os parâmetros do conversor *boost* foram calculados a partir dos valores de uma linha fotovoltaica orgânica apresentados na Tabela 1. Estes valores foram obtidos através da modelagem da linha fotovoltaica orgânica a partir de dados de filmes OPV fornecidos pelas empresas parceiras o CSEM (Centro Suíço de Eletrônica e Microtecnologia) Brasil e

a SUNEW.

Potência Máxima	16,44 mW
Tensão na máxima potência	0,55 V
Corrente na máxima potência	0,03 A

Tabela 1 - Especificações de uma linha fotovoltaica orgânica.

A modelagem e o equacionamento do conversor *boost* utilizado foi proposto por (AHMED, 2000). O circuito básico do conversor *boost* é mostrado na Figura 1.

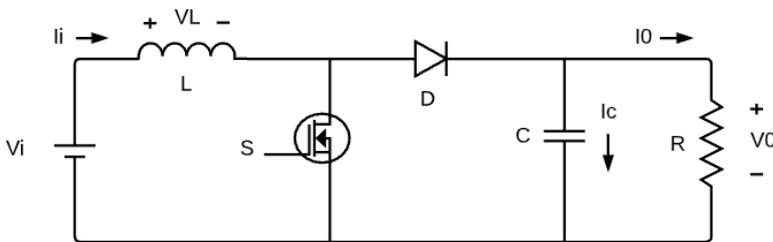


Figura 1 - Circuito básico do conversor *boost*.

Fonte: do autor

Quando a fonte de tensão  $V_i$  é substituída por uma célula fotovoltaica que irá fornecer uma tensão de entrada ( $V_{pv}$ ) e uma corrente de entrada ( $I_{pv}$ ) no conversor *boost*, faz-se necessário a adição de um capacitor ( $C_{pv}$ ) entre a célula e o conversor, pois ele terá a função de estabilizar a tensão  $V_{pv}$ . Isso acarretará a redução da influência da ondulação da corrente  $\Delta I_i$  no funcionamento da célula (RIBEIRO, 2011). Logo, em um modelo no qual há uma célula fotovoltaica na entrada do conversor *boost*, tem-se dois capacitores em todo o circuito:  $C_{pv}$  inserido entre a célula e o conversor, e  $C$ , isto é, o capacitor do circuito do conversor. Com isso, o capacitor  $C_{pv}$  é calculado através da seguinte fórmula (KJAER; PEDERSEN; BLAABJERG, 2005):

$$C_{pv} = \frac{P_0}{4\pi \cdot f \cdot V_i \cdot \Delta V_0} \quad (1)$$

Neste estudo, é proposto um ciclo de trabalho  $d = 0,8$  para aumentar a tensão de entrada e uma frequência de 25 kHz. Note que, esta frequência deve ser alta o suficiente para reduzir a ondulação de corrente na carga, assim como o tamanho do indutor, porém não pode ser tão alta para não acarretar elevadas perdas de chaveamento no transistor empregado (RASHID, 2014).

Aplicando os equacionamentos propostos por Ahmed (2000) e Kjaer, Pedersen;

Blaabjerg (2005), tem-se na Tabela 2 os valores utilizados nas simulações do conversor *boost*.

Parâmetro elétrico	Valor
$P_O$ (mW)	16,44
$V_i$ (V)	0,55
$V_O$ (V)	2,73
$C$ ( $\mu$ F)	0,70
$L$ (mH)	5,82
$C_{pv}$ ( $\mu$ F)	0,35
$d$	0,8
$f$ (Hz)	25000
$R$ ( $\Omega$ )	454,45

Tabela 2 - Valores empregados nas simulações do conversor *boost*.

Inicialmente, foi simulado no MATLAB/SIMULINK o circuito básico de um conversor *boost*, a fim de verificar seu funcionamento. Na Figura 2, é apresentado o diagrama do circuito simulado.

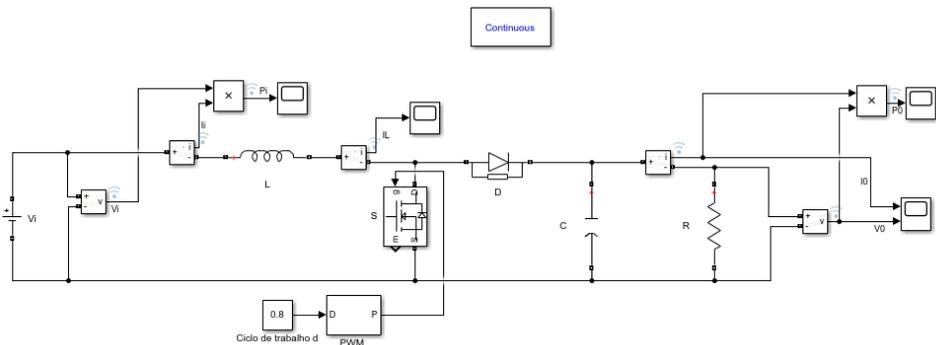


Figura 2 - Circuito do conversor *boost* simulado no MATLAB/SIMULINK.

Fonte: do autor

### 3 | SIMULAÇÕES DO CONVERSOR BOOST

Para verificar o funcionamento do conversor *boost*, foram obtidos gráficos da corrente e potência de entrada, assim como os gráficos da tensão, corrente e potência de saída. Para a corrente de entrada e a potência de entrada, foram gerados os gráficos da Figura 3. Através destes, observou-se um valor médio para  $P_i$  de 21,48mW, um valor máximo para  $I_i$  de 32,47mA e mínimo de 32,11mA, ou seja, uma oscilação pico a pico da corrente no indutor de 0,35mA.

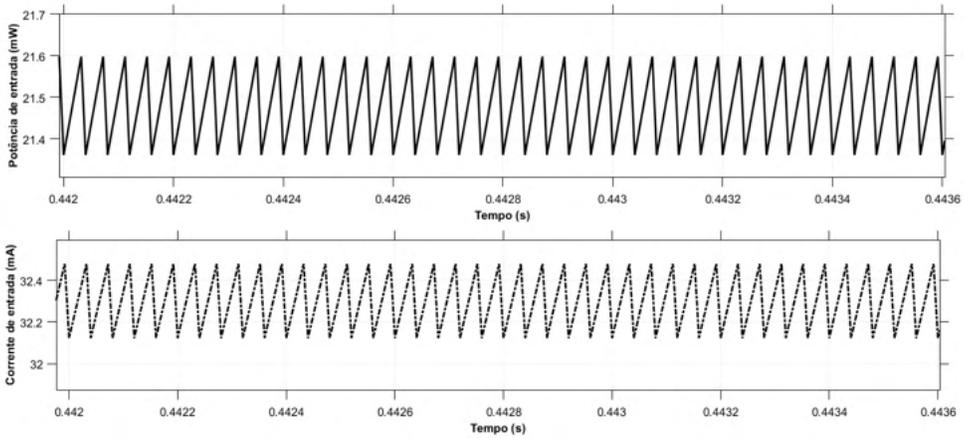


Figura 3 - Gráfico da potência e corrente de entrada do conversor *boost*.

Fonte: do autor

Já para a corrente, tensão e potência de saída foram gerados os gráficos da Figura 4. O valor médio da potência de saída foi de 13,72mW. A tensão máxima de  $V_o$  foi de 2,68V, enquanto a tensão mínima foi de 2,37V, resultando, portanto, em um  $\Delta V_o$  de 0,31V, de acordo com a especificação inicial de 10%.

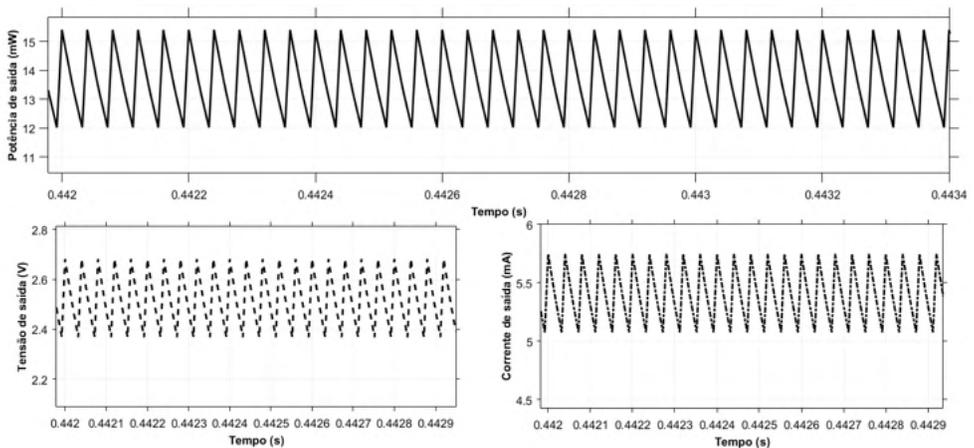


Figura 4 - Gráficos da potência, corrente e tensão de saída do conversor *boost*

Fonte: do autor

Há uma perda de potência na saída de , devido ao diodo e ao transistor MOSFET do conversor, pois o software utilizado coloca nestes dispositivos medidas padrão de resistências internas para que sejam mais realistas. A potência dissipada pelo MOSFET foi de 6,8 mW.

## 4 | SIMULAÇÕES DA LINHA OPV COM CONVERSOR BOOST E MPPT

O circuito simulado do sistema é apresentado na Figura 5, composto pelo modelo matemático da linha OPV, o conversor *boost*, um capacitor ( $C_{pv}$ ) entre a linha e o conversor, além do MPPT que atua no conversor citado.

Simulou-se o circuito completo para analisar seu funcionamento frente a alterações súbitas de irradiância. Para isso, tanto para o método Perturba e Observa (P&O) quanto para o Condutância Incremental (IC), manteve-se a temperatura fixa em 25°C e variou-se a irradiância conforme a Figura 6.

O degrau foi necessário para se calcular o tempo de subida, enquanto a forma da curva foi escolhida a fim de simular um sombreamento que logo depois se dissipe. Juntamente a isso, as simulações também foram feitas para diferentes valores de  $\Delta D$ : 0,02; 0,0002 e 0,000002.

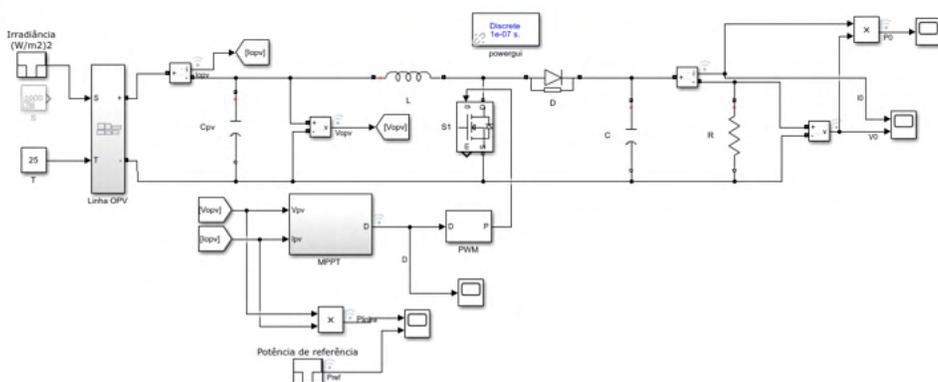


Figura 5 - Circuito completo simulado no MATLAB/SIMULINK.

Fonte: do autor

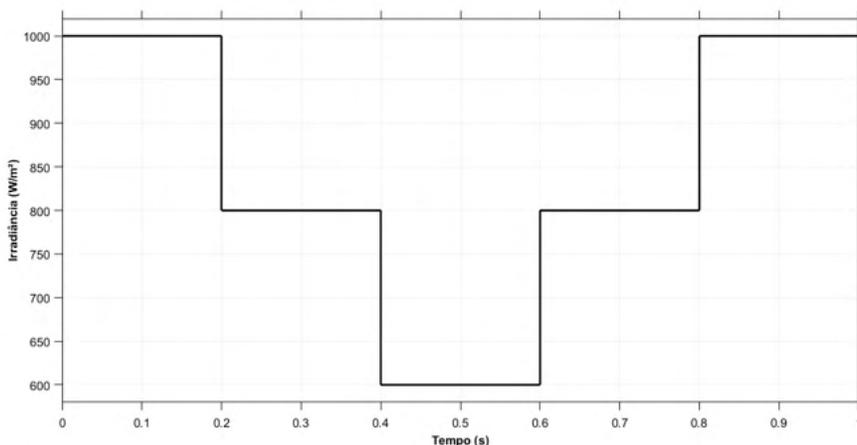


Figura 6 - Variação da irradiância.

Fonte: do autor

A partir do procedimento proposto, foram obtidos gráficos de potência de saída da linha OPV para diferentes  $\Delta D$ , que foram comparados às potências obtidas através da simulação de uma linha OPV. Estas foram consideradas potências de referência. Os gráficos também apresentam uma ampliação na mudança de irradiância de 1000 W/m<sup>2</sup> para 800 W/m<sup>2</sup> para melhor visualização do comportamento da curva.

Com isso, ao fazer a análise dos métodos de rastreamento, os principais pontos observados foram: o tempo de subida (*i.e.* o tempo que a resposta do sinal leva para cruzar um limite inferior de amplitude de 10% e superior de 90%) e a oscilação de potência a partir de uma alteração em  $\Delta D$ .

#### 4.1 Simulações da integração com MPPT pertuba e observa

As Figuras de 7 a 9 contêm gráficos da potência de saída de uma linha OPV para um incremento  $\Delta D$  de 0,02, 0,0002 e 0,000002, respectivamente.

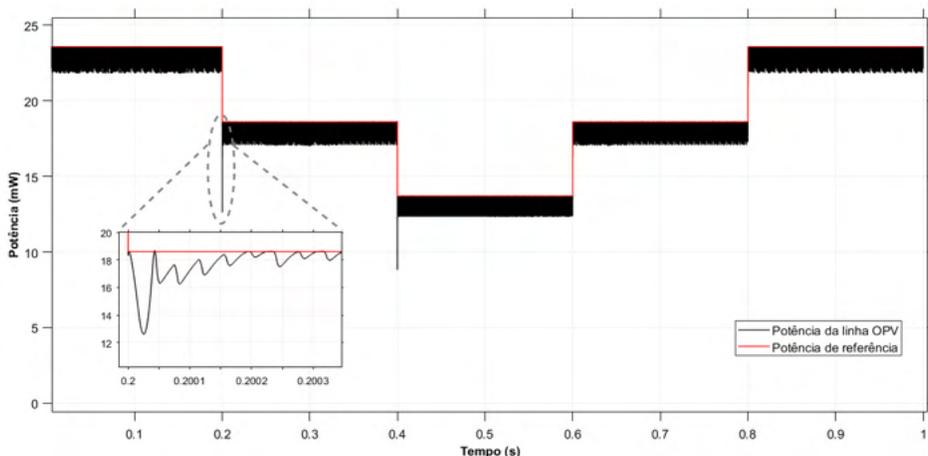


Figura 7 - Potência de saída da linha OPV com  $\Delta D$  de 0,02 e MPPT P&O.

Fonte: do autor

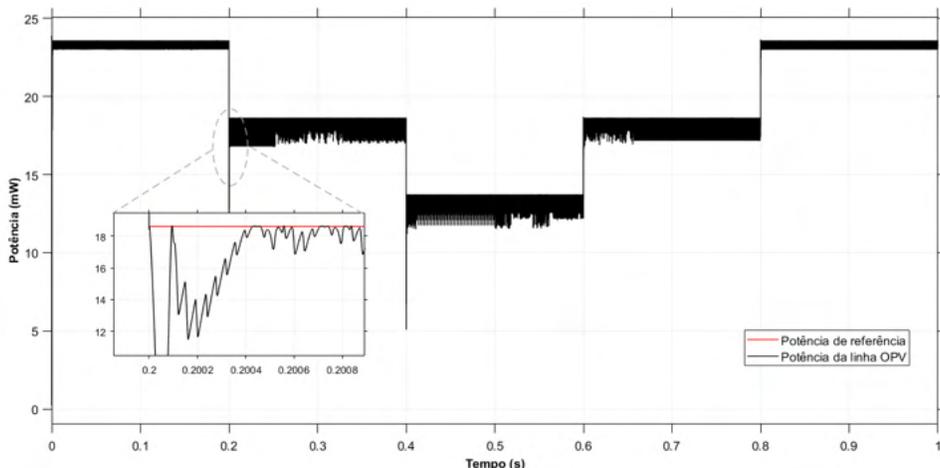


Figura 8 - Potência de saída da linha OPV com  $\Delta D$  de 0,0002 e MPPT P&O.

Fonte: do autor

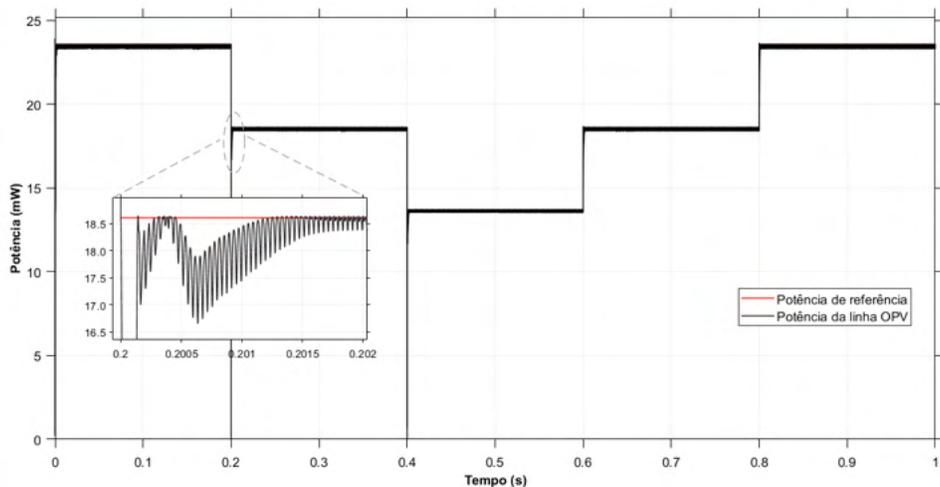


Figura 9 - Potência de saída da linha OPV com  $\Delta D$  de 0,000002 e MPPT P&O.

Fonte: do autor

Percebe-se através dos gráficos que, para um  $\Delta D$  de 0,000002, há uma oscilação menor que para os demais valores.

Na Figura 10, é possível observar que o ciclo de trabalho se adequa a cada mudança de irradiância, de forma que a linha opere em sua potência máxima até uma nova alteração da irradiância.

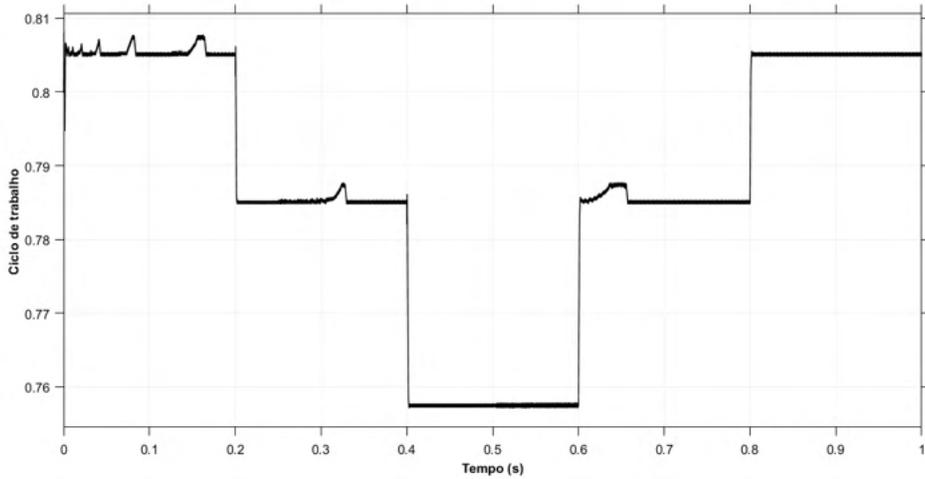


Figura 10 - Ciclo de trabalho para o MPPT P&O

Fonte: do autor

#### 4.2 Simulações da integração com MPPT condutância incremental

Assim como para o MPPT P&O da Seção anterior, foram obtidos os gráficos da potência de saída de uma linha OPV sob um MPPT do tipo IC. Estes são mostrados nas Figuras de 11 a 14.

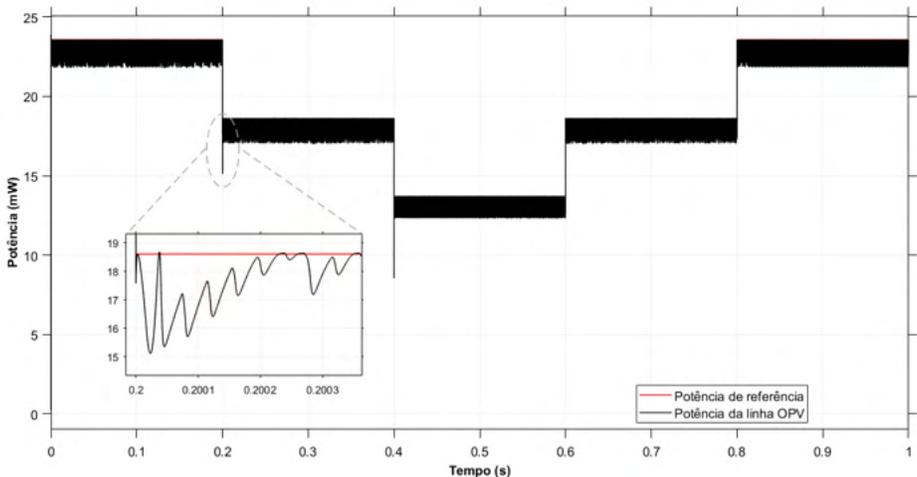


Figura 11 - Potência de saída da linha OPV com  $\Delta D$  de 0,02 e MPPT IC.

Fonte: do autor

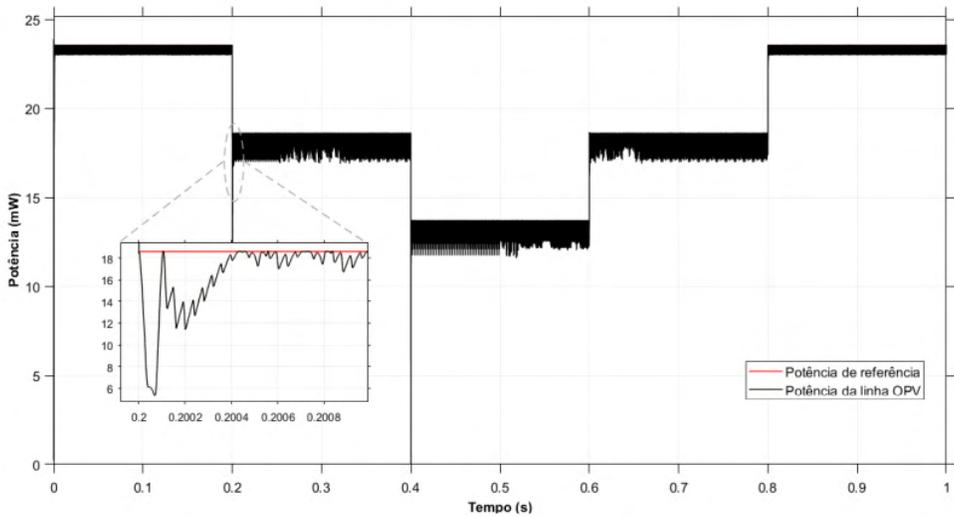


Figura 12 - Potência de saída da linha OPV com  $\Delta D$  de 0,0002 e MPPT IC.

Fonte: do autor

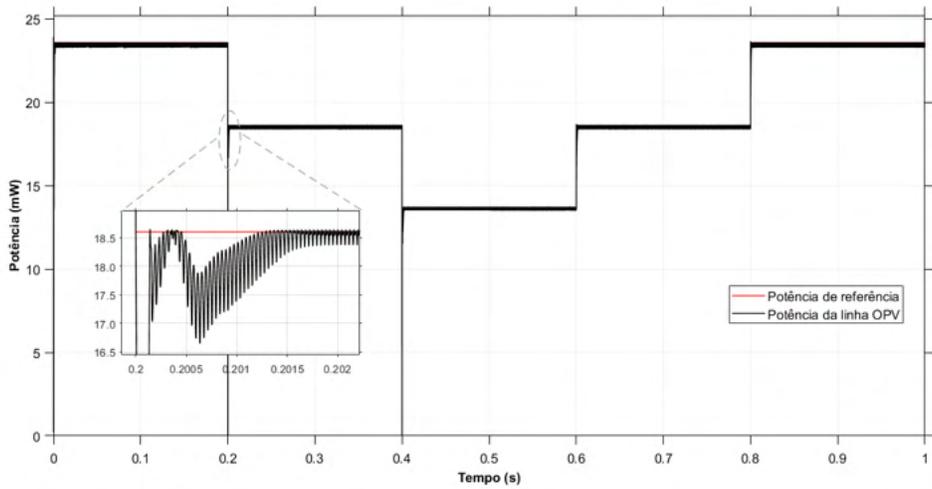


Figura 13 - Potência de saída da linha OPV com  $\Delta D$  de 0,000002 e MPPT IC.

Fonte: do autor

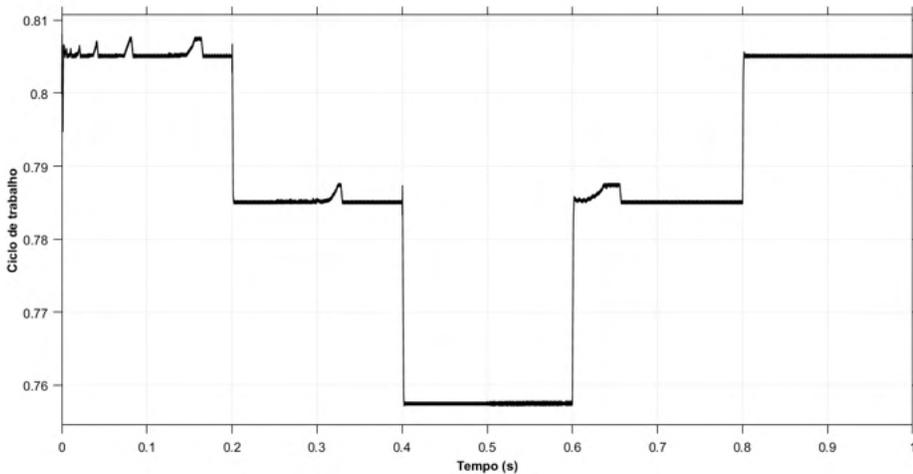


Figura 14 - Ciclo de trabalho para o MPPT IC.

Fonte: do autor

### 4.3 Análise dos métodos MPPT simulados

Através de uma rápida análise visual, já se percebe que os gráficos apresentados tanto para o método P&O, quanto para o IC são parecidos. A única diferença é notada nos gráficos da potência de saída da linha OPV para  $\Delta D$  de 0,02, onde no método P&O apresenta uma queda abrupta, devido a uma alteração brusca de irradiância, maior que a observada no método IC. Para P&O, esta chega a um mínimo de ca. 13mW, enquanto para o método IC este é de ca. 15mW. Em outras palavras, para P&O, há uma perda de potência maior, de aproximadamente 5,6mW enquanto IC apresenta uma perda de 3,6mW.

Um gráfico obtido para uma irradiância fixa em  $1000W/m^2$  e uma temperatura também fixa em  $25^{\circ}C$  é mostrado na Figura 15. Esta apresenta uma ampliação na forma de onda da potência de saída da linha OPV com MPPT P&O e com MPPT IC, para permitir a visualização de qualquer diferença entre os métodos. No entanto, percebe-se que tanto a oscilação média da potência quanto a fase são praticamente as mesmas.

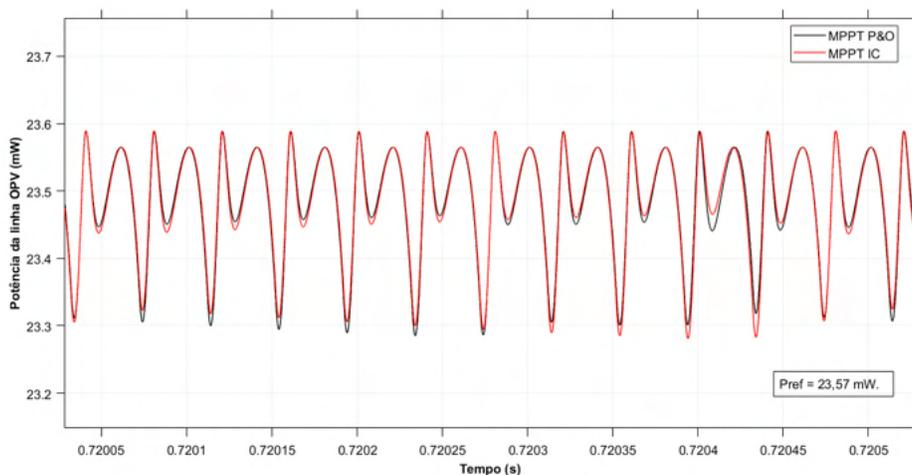


Figura 15 - Comparação entre as potências de saída da linha com MPPT P&O e IC

Fonte: do autor

Analisando as Figuras 10 e 14, percebe-se que o ciclo de trabalho, para ambos os métodos, adequa-se a cada mudança de irradiância, a fim de que se mantenha sempre na potência máxima oferecida pela linha. O tempo de subida para cada  $\Delta D$  foi obtido a partir das ampliações de cada gráfico de potência no momento de alteração da irradiância de  $1000 W/m^2$  para  $800 W/m^2$ . A oscilação da potência foi medida em uma região da curva onde se tinha  $1000 W/m^2$  de irradiância, podendo ser observados na Tabela 3.

Método	$\Delta D$	Tempo de subida (s)	Oscilação (mW)
P&O	0,02	0,0002	1,74
	0,0002	0,0002	0,59
	0,000002	0,0004	0,31
IC	0,02	0,0002	1,74
	0,0002	0,0002	0,59
	0,000002	0,0004	0,31

Tabela 3 - Tempo de resposta e oscilação para cada MPPT conforme  $\Delta D$ .

Os resultados da Tabela 3 revelam a similaridade dos métodos MPPT para a linha OPV simulada. Pode-se perceber também que o tempo de subida aumenta com a diminuição do valor colocado para  $\Delta D$ , porém a oscilação da potência diminui quanto menor for  $\Delta D$ . Pereira, Sousa e Santos (2016), usando também os métodos P&O e IC, obtiveram um tempo de subida de 0,06 s. A diferença entre o obtido neste trabalho, de 0,4 ms e o obtido por eles, é devido ao fato de que eles utilizaram uma frequência de

chaveamento de 3 kHz e um arranjo de 330 módulos fotovoltaicos de outro semicondutor, *i.e.* silício. Para  $\Delta D$  de 0,02 e 0,0002, obtiveram-se os mesmos tempos de subida, sendo que  $\Delta D$  de 0,02 apresentou uma maior oscilação da potência, entre 21,2mW e 23,6mW. Considerando que a potência de referência para 1000W/m<sup>2</sup> é de 23,57mW, observou-se um erro estático de 3,65%. Com  $\Delta D$  de 0,0002, a potência variou entre 23,0mW e 23,6mW, logo, um erro estático de 0,51%. Com o  $\Delta D$  de 0,000002, observou-se uma potência média para 1000W/m<sup>2</sup> de 23,44mW com um erro estático de 0,55%. Apesar do erro estático de  $\Delta D$  igual a 0,0002 ser menor que para 0,000002, e este apresentar uma maior oscilação na potência para 1000W/m<sup>2</sup> de irradiância, percebe-se que as curvas para 800W/m<sup>2</sup> e 600W/m<sup>2</sup> de irradiância apresentam certa instabilidade e uma oscilação maior que 0,59mW, o que para  $\Delta D= 0,000002$  não acontece.

Com a diminuição de  $\Delta D$ , verificou-se que a queda abrupta com uma diminuição da irradiância se torna mais significativa, porém, isto não é levado em consideração, pois na prática não há uma alteração de irradiância “instantânea”. A literatura afirma que os dois métodos MPPT apresentados tem a mesma eficiência, sendo que o IC apresenta uma menor oscilação (SALAS et al., 2006). Neste trabalho, observou-se os mesmos tempos de subida e de oscilação. Logo pode-se afirmar que os dois métodos realmente têm a mesma eficiência. Além disso, observou-se que, para linhas fotovoltaicas orgânicas, os métodos funcionaram de forma similar, sendo que o método IC não apresentou uma oscilação menor que a por P&O. Uma diferença entre os métodos pode não ter sido notada por conta dos valores empregados na simulação do modelo matemático da linha OPV neste trabalho. Note que os valores de  $K_i$ ,  $n$ ,  $R_s$  e  $R_{sh}$  não foram otimizados especificamente para a linha fotovoltaica orgânica produzida pelo CSEM-Brasil. Também deve ser devido a isto o fato de não se ter conseguido curvas características adequadas após uma variação na temperatura. Contudo, conclui-se a partir deste trabalho que ambos os métodos MPPT podem ser empregados para OPV, desde que seja o menor possível. Porém, como vimos, este deve ter um limite para que o tempo de subida não seja consequentemente grande.

## 5 | CONCLUSÕES

O conversor *boost* projetado apresentou um funcionamento adequado, porém com uma perda de potência de 7,76mW devido às chaves semicondutoras presentes no mesmo. Consequentemente, obteve-se uma eficiência de 63,87%. Já nas simulações da integração, pode-se perceber que o melhor valor para  $\Delta D$  é de 0,000002, pois este apresentou baixa oscilação da potência de saída da linha para as diferentes irradiâncias colocadas, assim como, um tempo de subida razoavelmente pequeno. Para este valor de  $\Delta D$  e para ambos os métodos MPPT, o circuito completo apresentou os mesmos resultados, o que pode ser decorrente de limitações do modelo matemático e seus parâmetros escolhidos para representarem uma linha OPV. Também, o ciclo de trabalho oriundo do MPPT se adaptou

bem às alterações na irradiância. Portanto, em uma situação em que a linha OPV se encontre sombreada, apresentando  $600\text{ W/m}^2$  de irradiância, por exemplo, esta conseguiria se manter em seu MPP e, conseqüentemente, entregando a máxima potência possível.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a: (i) CSEM Brasil e SUNEW por concederem dados de seus filmes fotovoltaicos orgânicos para a realização desta investigação; (ii) Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia & Sustentabilidade (PPGIES) da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, 407531/2018-1 & 303293/2020-9) pelo apoio e fomento à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

AHMED, A. **Eletrônica de Potência**. [S.l.]: Prentice Hall, Inc., 2000.

KJAER, S. B.; PEDERSEN, J. K.; BLAABJERG, F. **A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules**. IEEE transactions on industry applications, IEEE, v. 41, n. 5, p. 1292–1306, 2005.

PASTRANA, L. M. *et al.* **Organic Thin-Films by Wet-Processes for Flexible Bulk-Heterojunction Organic Solar Cells**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL, COMPUTER AND ENERGY TECHNOLOGIES (ICECET), 2021, Cidade do Cabo, África do Sul. EUA: IEEE, 2021. pp. 1-6.

PEREIRA, P.; SOUZA, A.; SANTOS, I. **Modelagem e avaliação de desempenho das principais técnicas de controle de MPPT empregadas na geração fotovoltaica**. XIV CEEL. Uberlândia, 2016.

SALAS, V.; OLIAS, E.; BARRADO, A.; LAZARO, A. **Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems**. Solar energy materials and solar cells, Elsevier, v. 90, n. 11, p. 1555–1578, 2006.

SANTOS, A. Q. O. *et al.* **Electricity Market in Brazil: A Critical Review on the Ongoing Reform**. Energies, MDPI, v. 14, p. 2873, 2021.

SANTOS, G.; CAVALLARI, M. R.; FONSECA, F. J. **A comparative study on the optimization of a ternary P3HT: PCBM: Pentacene active layer in bulk heterojunction organic solar cells**. Journal of Solar Energy Engineering, American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, v. 137, n. 4, 2015.

RASHID, M. H. **Eletrônica de Potência. Dispositivos, Circuitos e Aplicações**. Tradução de L. Abramowicz, 2014.

RIBEIRO, R. V. **Sistema fotovoltaico autônomo baseado em conversores cc-cc boost**. MESTRADO, UFRJ, 2011.

ZANCHIN, V. R.; CAVALLARI, M. R.; FONSECA, F. J. **Stability of Polythiophene-Based Transistors upon Bending for Gas Sensing Applications**. Journal of Integrated Circuits and Systems, v. 16, n. 1, p. 1–6, 2021.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Algoritmos 83, 106, 154

Ambientes acadêmicos 74, 75

Aprendizagem 2, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 71, 72, 76, 77, 78, 82, 150, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 160

### C

Café 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Campo conceitual aditivo 149, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Ciência da computação 6, 7

Ciências exatas 22, 158

Comunidade 6, 11

Covid-19 1

### D

Desenvolvimento 6, 7, 8, 11, 12, 16, 17, 19, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 37, 38, 39, 42, 43, 62, 64, 75, 76, 95, 104, 107, 119, 150, 151, 160, 168, 169, 182

Docente 17, 18, 19, 23, 31, 32, 34, 38, 39, 40, 44, 47, 49, 63, 156, 159, 182

### E

Ecologia 41, 42, 45, 47

Educação 1, 2, 3, 4, 5, 7, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 40, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 61, 63, 64, 71, 72, 76, 156, 157, 158, 159, 182

Educação científica 4, 19

Energia solar 94, 95, 96, 107

Ensino 1, 3, 5, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 61, 62, 63, 64, 75, 76, 81, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Estruturas aditivas 149, 152, 155, 156, 157, 158, 159, 161

Experimentação no ensino 13, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 26, 31, 32, 33

Extensão 6, 7, 11, 12, 168, 172, 179

### F

Fluidodinâmica computacional 136

### M

Máquina 83, 85

Matemática 18, 19, 29, 30, 31, 32, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 61, 62, 63, 64, 65, 68, 71, 72, 77, 120, 121, 149, 151, 152, 154, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Meio ambiente 6, 7, 11, 23, 29, 94, 95

Métodos geofísicos 120, 121

Modelagem 22, 30, 94, 96, 105, 107, 108, 119, 120, 121, 123, 127, 128, 129, 133, 160, 175, 177

Motor ramjet 135

## **N**

Non-linear damping 162, 163, 166

## **P**

Painéis fotovoltaicos 94, 106, 107

Poluição ambiental 75

Poluição sonora 74, 75, 76, 78, 81, 82

Professor 14, 18, 19, 38, 49, 50, 51, 53, 54, 62, 64, 65, 68, 76, 77, 79, 80, 81, 149, 151, 152, 155, 159, 160, 182

## **Q**

Química 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 135

## **R**

Recurso tecnológico 48, 51, 71, 72

Relato de experiência 6, 24, 32

## **S**

Simulação 24, 32, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 112, 118, 133, 135, 136, 146

Software 2, 6, 7, 8, 9, 11, 75, 89, 94, 95, 96, 99, 106, 107, 110, 139, 140, 141, 158

Structures vibrations 162

Sustentabilidade 104, 119

## **T**

Tecnologia 1, 2, 5, 17, 30, 31, 32, 33, 35, 49, 50, 75, 96, 104, 107, 158

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos  
e o ensino-aprendizagem



 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

  
Ano 2022

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos  
e o ensino-aprendizagem



 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

  
Ano 2022