Rio de Janeiro-RJ



# ANÁLISE DA POTÊNCIA E DA IRRADIAÇÃO DE LÂMPADAS APLICADOS EM EQUIPAMENTO DIDÁTICO PARA O ENSINO EM ENGENHARIA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4318

Luis Gustavo Ferrareto Espontao - luis.espontao@sesisenaipr.org.br UniSENAI Londrina

Camila Fogaça de Oliveira - camila.oliveira@sistemafiep.org.br UniSenai Londrina

Vicente de Lima Gongora - vicente.gongora@sistemafiep.org.br UniSENAI Londrina

Renato Kazuo Miyamoto - renato\_miyamoto@icloud.com UniSenai Londrina

Wesley Candido da Silva - eng.wesleycandidosilva@gmail.com UniSenai Londrina

**Resumo:** Este trabalho desenvolveu um equipamento didático para o ensino de geração solar, no curso de engenharia elétrica, composto por três estruturas: um conjunto de painéis solares, uma estrutura com um conjunto de lâmpadas e uma bancada de acionamento para aplicações de rastreamento. O equipamento emula a geração fotovoltaica durante o período noturno, permitindo que os alunos apliquem seus conhecimentos teóricos na vivência prática. O estudo desenvolveu a estrutura com um conjunto de lâmpadas e objetiva o estudo da potência e irradiação adequadas para utilização do equipamento experimentalmente. Os resultados da simulação e a metodologia aplicada concluíram que existe uma relação intrínseca entre o comprimento de onda e a potência gerada pelo módulo fotovoltaico, possibilitando a extração da melhor potência possível. Notou-se também que rastrear a curva de potência máxima pode aumentar a eficiência da geração de energia fotovoltaica. O uso de lâmpadas halógenas gerou o dobro da potência em relação às lâmpadas de vapor metálico. A aplicação de filtros digitais validou a etapa de pré-processamento para o desenvolvimento de um sistema de rastreamento. O equipamento didático visa auxiliar os alunos a aplicarem seus conhecimentos teóricos na vivência prática, sendo a energia solar uma das opções











mais promissoras de transição energética para a sustentabilidade ambiental e econômica.

**Palavras-chave:** geração solar. módulo fotovoltaico. sistema de rastreamento. sustentabilidade. Kit Educacional





> 18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



# ANÁLISE DA POTÊNCIA E DA IRRADIAÇÃO DE LÂMPADAS APLICADAS EM EQUIPAMENTO DIDÁTICO PARA O ENSINO EM ENGENHARIA

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta um elevado potencial em geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis devido a abundância de diversos recursos naturais tais quais: os hídricos, ventos e irradiação solar, abrindo espaço para que empresas brasileiras invistam nesses recursos (TRANNIN, 2016). Em complemento, vivencia-se um período de transição energética, que se tornou um processo fundamental para a sustentabilidade ambiental e econômica do planeta. Esse processo envolve a mudança da matriz energética, isto é, a substituição de fontes tradicionais para opções mais limpas e renováveis na geração de energia elétrica. A energia solar é uma das alternativas mais promissoras para essa transição, pois é uma fonte abundante e disponível em todo o mundo (MME; EPE, 2021).

A energia solar é obtida quando os fótons que compõem a luz solar entram com colisão com os átomos das células fotovoltaicas, assim ocorre a transformação da luz do sol diretamente em eletricidade. Esse processo é limpo, pois não emite gases poluentes e não contribui para o aquecimento global. Além disso, a energia solar é renovável e praticamente ilimitada, o que significa que pode ser utilizada indefinidamente sem esgotar a fonte. Por ser um país com elevado índices de irradiação, pode-se esperar um desempenho considerável das usinas fotovoltaicas através dos fatores climáticos de exposição a energia solar (MOREIRA, 2019).

Com o aumento da demanda de mercado por profissionais capacitados para atuar em instalações de sistemas fotovoltaicos, o Centro Universitário UniSenai Londrina se propôs, em conjunto com os alunos dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica a desenvolver um equipamento didático que emula a geração fotovoltaica durante o período noturno, contribuindo para a aplicação dos conhecimentos teóricos aliado a vivência prática de modo a auxiliar no processo de aprendizagem do estudante que dispõe apenas do período noturno para os estudos.

O projeto contempla um aparato com uma placa solar e um banco de lâmpadas fixos em um eixo horizontal com motores independentes. Os motores são utilizados para a movimentação da placa solar em aplicações de rastreamento em um eixo. A modelagem matemática e o dimensionamento dos dispositivos utilizados na bancada didática são de grande relevância para a operação do conjunto. Assim, a principal motivação deste trabalho consiste na modelagem matemática de lâmpadas que possam simular a luz solar em espectros de comprimento de onda que otimizem a geração de energia elétrica na placa solar.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Sol emite três tipos diferentes de radiações em formas de ondas eletromagnéticas, cada uma com seu respectivo comprimento de onda conforme ilustra a Figura 1(a).





> 18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



Segundo a *International Organization for Standardization* (2007) podem ser denominados como:

- Ultravioleta (UV) com comprimento de onda entre 100nm e 400nm, onde grande parte é absorvida pela atmosfera terrestre. Ultravioleta A (UV-A) e ultravioleta B (UV-B) são parte de uma classe que ultrapassa a atmosfera terrestre, na faixa de entre 280nm e 315nm e são parcialmente absorvidos pela camada de ozônio, especialmente o UV-B.
- Luz Visível (VIS) é referente a forma de onda que nossos globos oculares captam em forma de cores. Seu espectro é formado do comprimento de 400nm até 700nm, onde dentro deste intervalo, estão todas as cores que conhecemos.
- Infravermelho são os comprimentos de onda acima de 760nm até 1mm, responsáveis por carregarem energia em forma de calor e dissipá-lo em nosso planeta.

Na Figura 1(a) observa-se a comparação entre o espectro extraterrestre e a superfície terrestre (PASIN, 2019). Na faixa de emissão de infravermelho encontram-se os corpos que emitem espectros de radiações térmicas de forma universal, denominados como corpos negros, apresentando determinada temperatura e comprimento de onda. Devido a distribuição espectral a radiação solar é um exemplo de corpo negro, a uma temperatura de 5800 K, conforme é ilustrado na Figura 1(b), onde é realizado a aproximação da curva de radiação de referência a um espectro de corpo negro (RODRÍGUEZ GÓMEZ, 2018).





A energia eletromagnética emitida pelo Sol está, em uma faixa compreendida entre 200nm e 2500nm, compondo todos os espectros de irradiação solar. Na Figura 1(a) temse que o comprimento de onda ultravioleta representa 8% do espectro solar, a luz visível representa cerca de 47% do espectro solar e o espectro infravermelho e representa cerca de 45% do espectro solar.

A conversão direta da energia solar em eletricidade é conhecida como efeito fotovoltaico que consiste no surgimento de diferença de potencial causado pela ação dos fótons que interagem com os elétrons das células de silício. As células de silício em geral apresentam uma maior eficiência dentre os outros tipos comercializados mundialmente, possuindo eficiência em torno de 25% para células monocristalinas de silício e 20% para as células policristalinas de silício (pSi). Essa porcentagem é relativamente reduzida





"ABENGE 50 ANOS: DESAFIOS DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA" 18 a 20 da sotombro

18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



quando analisada nos módulos fotovoltaicos, cerca de 23% e 19%, respectivamente, devido a perdas internas do sistema (NEVES, 2016).

As células fotovoltaicas disponíveis são de silício policristalino (pSi), compostas por silício e algumas impurezas, são menos eficientes que as células monocristalinas, porém permitem um grau de impureza maior e com custo menor de produção. A Figura 2(a) ilustra um esquema das camadas de silício e outros materiais presentes na célula fotovoltaica. A Figura 2(b) ilustra a sensibilidade dos espectros em comprimento de onda para vários tipos de células, em especial, para as células de silício.



De acordo com a Figura 2(b) observa-se que as células policristalinas de silício (pSi) operam na faixa de 400nm até cerca de 1200nm, com a máxima operação nos comprimentos de onda compreendidos entre 800nm e 1000nm. A partir destes aspectos é possível realizar um estudo para o modelo de iluminação artificial que propicie o melhor comprimento de onda em forma de irradiação que seja compatível com a sensibilidade do módulo fotovoltaico. Assim, para essas análises deve-se observar a potência de saída no módulo, a partir de análises gráficas de potência por tensão (V x P) e corrente por tensão (V x I) ilustradas na Figura 3, referente ao módulo DHP72-315W.

Figura 3 – Análise DHP72-315W: (a) V x P; (b) V x I.



Fonte: Adaptado de DAH Solar (2023).

Na Figura 3 observa-se a relação de potência da placa solar modelo DHP72-315W retirado da folha de dados do fabricante, e que corresponde ao modelo comercial do módulo





> 18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



fotovoltaico utilizado nesse trabalho. O modelo em questão foi simulado em *software* computacional e comparado com as especificações gráficas relatadas pelo fabricante. Na sequência, foram realizados ensaios em bancada experimental para a validação do modelo computacional e a escolha do tipo de lâmpada que atende o espectro de irradiação otimizado para a aplicação. Os aspectos metodológicos utilizados nesse trabalho são descritos na seção a seguir.

### 3 METODOLOGIA

O equipamento didático foi projetado para uso em ensino de geração solar e desenvolvido por estudantes de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica. O referido equipamento é composto por três estruturas, a saber: o conjunto da placa solar, a estrutura com um conjunto lâmpadas e bancada de acionamento. Assim, cada estrutura constitui uma etapa no desenvolvimento do equipamento. Esse trabalho visa apresentar os aspectos relacionados ao desenvolvimento da estrutura com um conjunto de lâmpadas. Para isso, é necessário um estudo sobre a potência e a irradiação de lâmpadas que possam ser utilizadas no equipamento. A Figura 4, ilustra a metodologia utilizada nessa etapa do projeto.



Figura 4 – Metodologia para o estudo de lâmpadas para uso em equipamento didático

Fonte: Dos autores.

Nesse estudo, foram analisados dois modelos de lâmpadas: i) lâmpada halógena 300W / 127V, e ii) lâmpada vapor metálico 400W / 127V. A simulação computacional da curva de potência do modulo foi realizada em simulador PSIM e os resultados de simulação



Organização:

CEFET/RJ

> 18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



obtidos são comparados aos experimentais obtidos na geração forçada. A partir da aquisição experimental foi obtido um modelo matemático que representa o conjunto de dados de potência da lâmpada. Esses resultados obtidos experimentalmente foram comparados aos resultados obtidos em simulação computacional. Após a validação do modelo matemático realizou-se a construção da estrutura e a fixação das lâmpadas. A seção a seguir apresenta os aspectos metodológicos relacionados a coleta de resultados de simulação.

#### 3.1 Coleta de dados utilizando o simulador PSIM

O módulo fotovoltaico utilizado neste trabalho é o modelo DHP72-315W do fabricante DAH Solar, constituído de células policristalinas de silício (pSi). Após uma consulta no catálogo do fabricante, obteve-se os dados da potência de geração testados em laboratório. Dessa forma, para simulação computacional foi utilizado o *software* de circuitos PSIM, que possibilita a simulação de curvas dos módulos fotovoltaicos utilizando parâmetros reais. Utilizando o espectro padrão com a irradiância de 1000 W/ m<sup>2</sup> e temperatura de 25° C, informados no catálogo do fabricante, o *software retorna* os valores calculados de potência, tensão e corrente e as respectivas curvas, conforme ilustra a Figura 5.

			Ś	10			1000 W/m <sup>2</sup>		
Solar Module (physical mode	el)	×	rrente	8					
Parameters Other Info Colo	or		Ö	7					
Solar module (physical model)		Help		5					
		Display		4					
Name	DH72	<b>v</b>		2					
Number of Cells Ns	72			1					
Standard Light Intensity S0	1000			0 5	10 15	20 25	30 35	40 45	50
Ref. Temperature Tref	25					(1-)		Ter	ısão (V)
Series Resistance Rs	0.006		3	50		(a)			
Shunt Resistance Rsh	1000		د <u>ام</u>	00				1000 W/m	2
Short Circuit Current Isc0	9		otêno	50				$\rightarrow$	
Saturation Current Is0	1.11e-8		<u>م</u> 2	00					
Band Energy Eg	1.12		1	50				-+	
Ideality Factor A	1.2		1	00					
Temperature Coefficient Ct	0.0045			50					
Coefficient Ks	0			0 5	10 15	20 25	30 35	40 4	15 50
	(a)			_ •		(c)		Te	nsão (V)

Figura 5 – Simulação da potência no módulo DHP72-315W: (a) parâmetros de simulação utilizado em software PSIM; (b) Curva simulada V x I; (c) Curva simulada V x P.

As curvas de corrente x tensão e potência x tensão, são apresentadas nas Figuras 5(b) e 5(c), respectivamente. Os dados obtidos em ambiente simulado (Figura 5) foram comparados com os dados fornecidos pelo fabricante (Figura 3), e foram considerados satisfatórios. Assim, se faz necessário a comparação com os dados experimentais da geração forçada, que foram coletadas utilizando a plataforma de desenvolvimento Arduino.





Fonte: Dos autores.

"ABENGE 50 ANOS: DESAFIOS DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA" 18 a 20 de setembro

8 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



#### 3.2 Coleta de dados utilizando Arduino

Para a coleta dos dados de geração forçada foi utilizada a plataforma de desenvolvimento Arduino que possui um microcontrolador embarcado, constituído de entradas e saídas digitais e analógicas. O Arduino foi utilizado para realizar a coleta de tensão e de corrente do módulo fotovoltaico conforme o esquema ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Coleta de dados: (a) circuito eletrônico de condicionamento; (b) Protótipo de coleta de dados.



Fonte: Dos autores.

A Figura 6(a) ilustra o circuito responsável pelo condicionamento do sinal referente aos sinais de corrente e tensão para a aquisição. O circuito para a coleta de corrente elétrica é composto por um *Shunt* resistor ligado em série com a carga para a terra. Assim, se não houver carga acoplada, o *Shunt* não irá conduzir corrente elétrica. O protótipo para a coleta de dados foi montado em uma placa de circuitos universal (Figura 6(b)) utilizando o amplificador operacional LM2904. Na montagem do protótipo foram inseridos conectores do tipo borne com quatro terminais, em que: dois terminais são conectados para a alimentação do circuito; e dois terminais são as entradas analógicas do Arduino.

Para o microcontrolador realizar uma leitura mais precisa da tensão e estimar a corrente, é necessário um circuito de amplificação desta tensão para um nível analógico de até 5 V. Para isso utilizou-se um amplificador-operacional em configuração não inversor, em que o ganho de tensão é expresso pela equação (1):

$$Vout = \frac{R2}{R1} \times Vin \tag{1}$$

Onde Vout é a tensão de saída do amplificador (V), Vin é a tensão de entrada (V) e R1 e R2 são os valores de resistores ( $\Omega$ ). Rearranjando a equação (1) pode-se calcular o valor de R2, definindo um valor para R1 e utilizando a equação (2):

$$R2 = \frac{R1}{Vin} \times Vout \tag{2}$$

O amplificador operacional U1:B da Figura 6(a) foi inserido no circuito de aquisição de tensão com a aplicação de *buffer* com o objetivo de garantir uma maior segurança e não gerar danos a entrada analógica do Arduino, devido ao isolamento ocasionado pela alta impedância de entrada do amplificador operacional.





"ABENGE 50 ANOS: DESAFIOS DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA" 18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



#### 3.3 Simulação da Incidência Solar

Após estudar a sensibilidade espectral do módulo e compreender os espectros de emissão de irradiação, foi necessário escolher as lâmpadas mais promissoras para simular a geração forçada, durante o período noturno. Procurando pelos equipamentos na instituição, foi encontrado dois tipos de lâmpadas: halógena e vapor metálico. Assim, analisou-se os tipos de espectros essas lâmpadas emitem, conforme ilustrado na Figura 7.



Fonte: Adaptado de SCOPACASA (2018).

Comparando-se com a sensibilidade espectral das tecnologias fotovoltaicas, concluiu-se que as lâmpadas halógenas tem potencial como fonte de luz, apresentando um espectro favorável a sensibilidade do módulo. A fim de comprovar esse resultado, as lâmpadas foram montadas em uma bancada a 50 cm de distância do módulo fotovoltaico para a coleta experimental, conforme ilustra o esquemático da Figura 8.



Figura 8 – Montagem das lâmpadas para ensaio experimental

Fonte: Dos autores.

Para coletar diferentes níveis de potência que o módulo fornece, foi utilizado um reostato de 100  $\Omega$  / 250 W para variar a resistência de carga do módulo fotovoltaico. Ainda, com o auxílio do *software* PLX DAQ uma planilha Excel é preenchida com os dados



Organização:

CEFET/RJ

> 18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



coletados de forma automática, por comunicação serial. Na aquisição experimental dos dados, os ruídos de amostragem dos sinais podem prejudicar a confiabilidade do modelo; nesse sentido, este trabalho propõe a implementação de filtros digitais para o condicionamento desses sinais, neste caso aplicado a um sensor LDR para verificação da iluminação no módulo; a fim de melhorar as aquisições.

#### 3.3 Condicionamento de sinais utilizando filtros digitais

Um filtro digital utiliza computação para filtrar os ruídos em um sinal contínuo. Os filtros do tipo FIR (*Finite Impulse Response*) são característicos realizar a conversão de uma sequência finita de amostras e sua operação é regida por equações lineares de diferenças com coeficientes constantes de natureza não-recursiva. A metodologia mais simples de projeto filtro FIR é por meio do método de janelamento (HAYKIN, 2001).

Para a aplicação de um filtro digital, inicialmente deve-se analisar quais as frequências devem ser atenuadas. Para isso, utilizou-se a Transformada Rápida de Fourier (do inglês FFT – *Fast Fourier Transform*) para analisar as amplitudes do sinal, ilustrada na Figura 9(a). Na figura, observa-se amplitudes de sinais na ordem de 4 Hz até próximo de 12 Hz. Em aplicações ideais, o sinal proveniente do sensor LDR deve ser contínuo com frequência em 0 Hz.



Dessa forma foi projetado um filtro digital com frequência de corte de 15 Hz com o auxílio da ferramenta *designfilt* disponível no *software* de modelagem matemática. A banda de transição selecionada foi de 5Hz, para garantir a estabilização da atenuação do filtro próximo a -12dB de ganho. Dessa forma, o janelamento o sistema é constituído de 69 coeficientes. Os resultados obtidos através da convolução do filtro desenvolvido para o sensor LDR está ilustrado na Figura 9(b). Pode-se verificar a atenuação dos ruídos presentes no sinal amostrado. A convolução dos coeficientes do filtro ocorre em tempo real e foi implementado no microcontrolador Arduino. A seguir são apresentados os resultados obtidos nessa pesquisa.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Utilizando a metodologia descrita na Seção 3, foram obtidas as curvas de potência de geração por meio da luminosidade aplicada ao módulo (Figura 10). Foi realizada a análise das curvas de potência (W) por tensão (V) das lâmpadas halógenas (Figura 10(a))





"ABENGE 50 ANOS: DESAFIOS DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA" 18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



e vapor metálico (Figura 10(b)). Essa análise elimina a necessidade do estudo da curva de corrente (A) e tensão (V), pois os valores de corrente podem ser extraídos do modelo matemático da potência.



As linhas de tendência presentes na Figura 10 são referentes a uma função polinomial de 5º grau e indicam quão bem essas funções se ajustam ao conjunto de dados. O modelo matemático apresentado na equação (3) se refere a lâmpada halógena e o modelo matemático da equação (4) se refere a lâmpada de vapor metálico.

$$H(x) = -0.00003147480x^{5} + 0.000257537709x^{4} - 0.007716148839x^{3} + 0.098024143089x^{2} - 0.231260880270x + 0.860026917210$$
 (3)

$$V(x) = 0.000001239566x^{5} - 0.000117191745x^{4} + 0.003400553792x^{3} - 0.034262994598x^{2} + 0.198788568601x - 0.017646736981$$
(4)

A partir dos modelos matemáticos é possível obter o ponto de máxima potência, máxima tensão e máxima corrente gerada no módulo fotovoltaico, tanto para as lâmpadas halógenas quanto para as lâmpadas de vapor metálico. Para determinar as raízes das funções, foi utilizado o método de Newton–Raphson (5), sendo  $x_n$  um valor inicial aproximado para a raiz da função analisada (H(x) ou V(x)).

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$
(5)

onde  $f'(x_n)$  se refere a primeira derivada das funções. As equações (6) e (7) apresentam as derivadas para as funções da lâmpada halógena (H(x)) e da lâmpada de vapor metálico (V(x)), respectivamente.

$$H'(x) = -0.0000157374 x^{4} + 0.001030150836 x^{3} - 0.023148446517 x^{2} + 0.196048286178x - 0.23126088027$$
(6)

$$V'(x) = -0.0000157374 x^{4} + 0.001030150836 x^{3} - 0.023148446517 x^{2} + 0.196048286178x - 0.23126088027$$
(7)





> 18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



Neste caso, foi adotado os valores mínimos e máximos das tensões obtidas através das curvas da Figura 10 para utilizar o método de aproximação. Assim, para as lâmpadas halógenas  $x_0 = 0$  para o cálculo da primeira raiz e  $x_0 = 37$  para a segunda raiz. Ainda,  $f'(x_n)$  se refere a primeira derivada das funções das equações (6) e (7), resultando nas equações (8) e (9):

 $H''(x) = -0.0000629496 x^{3} + 0.003090452508 x^{2} - 0.046296893034 x$ +0.196048286178(8)

 $V''(x) = 0.00002479132x^3 - 0.00140630094x^2 + 0.020403322752x - 0.068525989196$ (9)

Substituindo o valor das raízes nas funções (3) e (4), obtém-se o ponto de potência máxima para as funções H(x) e V(x). A Tabela 1 ilustra os resultados obtidos.

Tabela 1 – Potência máxima experimentais das lâmpadas

	Potência máxima	Tensão	Corrente
Halógena	5,998 W	28,74 V	208 mA
Vapor metálico	3,016 W	24,14 V	125 mA
Fonte: Dos autores.			

Na tabela, observa-se que o ponto de potência máxima para a função H(x) referente a lâmpada halógena é de 5,998 W, fornecendo cerca de 28,74 V e aproximadamente 208 mA. Para a função V(x) referente a lâmpada de vapor metálico o ponto de máxima potência foi de 3,016 W, fornecendo cerca de 24,14 V e aproximadamente 125,14 mA.

Na Figura 11(a) está o resultado da simulação com os dados do módulo fotovoltaico e com os dados obtidos para a modelagem da lâmpada halógena – que apresentou melhor desempenho. Na simulação, Pmax refere-se ao valor de potência máxima calculado e o valor de *Ligh Intensity* é referente a irradiação incidente no módulo para gerar este nível de potência. Esse valor está relacionado a irradiação gerada pelas lâmpadas halógenas, em que neste conjunto obtém-se aproximadamente 22.98 W/mm<sup>2</sup>.

Figura 11 – Simulação de curva de potência com dados obtidos H(x): (a) halógena; (b) vapor metálico







Organização:

CEFET/RJ

> 18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



Na Figura 11(b) observa-se o mesmo modelo de simulação, com os valores obtidos da modelagem das lâmpadas vapor metálico. É possível notar que o valor de *Light Intensity* é quase a metade do valor obtido com a lâmpada halógena, o que comprova a fundamentação da emissão espectral destes tipos de lâmpadas ao analisar a Figura 8. Outro detalhe também a ser notado, está relacionado ao valor Pmax ser a metade do que obtido pela lâmpada halógena, o que leva a conclusão de que o valor de irradiação é proporcional ao valor de potência que é gerada pelo módulo.

### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Por meio da análise dos resultados obtidos pode-se concluir que existe uma relação intrínseca entre o comprimento de onda e a potência gerada pelo módulo fotovoltaico; dessa forma, é possível analisar formas de se extrair a melhor potência possível da geração fotovoltáica. Relacionando os resultados da simulação, obtêm-se o valor de irradiação gerado pelas lâmpadas, que posteriormente se transforma em potência elétrica. Assim sendo, validou-se que o espectro de luz da lâmpada incidente no módulo, está diretamente ligado a potência que o mesmo é capaz de gerar, acompanhando os resultados da simulação obtidos pelos métodos demonstrados neste trabalho.

Aplicando a modelagem, desenvolvida, em um sistema embarcado, é possível realizar o rastreio da curva de máxima potência de geração, buscando sempre manter a entrega da máxima potência à carga. Método que, em teoria, eleva a eficiência da geração, pois sempre estará sendo entregue o valor máximo da energia disponível convertida pelo módulo fotovoltaico. Os resultados experimentais foram considerados satisfatórios para a determinação de qual será a melhor opção de geração de luz forçada para utilizar no projeto. Nesse equipamento, foram utilizadas as lâmpadas halógenas por gerarem aproximadamente o dobro de potência em relação as lâmpadas de vapor metálico.

No dia 05/12/2022, foram apresentadas as provas das habilidades adquiridas pelos estudantes de Engenharia Elétrica durante a exposição de resultados conhecida como "Jornadas de aprendizagem". Essa mostra é baseada em uma metodologia inovadora de engenharia oferecida pela instituição. ensino em que integra conteúdos е interdisciplinaridade para relacionar teoria e prática, com foco na resolução de problemas reais no meio industrial. Além disso, foram notados avanços na capacidade dos estudantes de desenvolver projetos e solucionar problemas reais, assim como um aprendizado prático significativo e bem equilibrado. Por fim, foi concluído que os alunos foram desafiados a desenvolver habilidades extras, como trabalho em equipe, planejamento e design, além de implementação prática de projetos. Essa oportunidade permitiu um conjunto evolutivo de desafios que cobriram áreas técnicas, como automação eletrônica e simulação, bem como competências comportamentais, como criatividade, inovação e resolução de conflitos em equipe, todas habilidades altamente valorizadas pelos atuais estudantes de engenharia.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário Senai Londrina UniSenai, pela infraestrutura física e em especial a empresa Balfar Solar, pela doação do painel solar.







18 a 20 de setembro Rio de Janeiro-RJ



DAH Solar. Folha de dados: Painel Solar Poli 72cell serial 315/320/325 / 330w. Heifei, 2023. Disponível em: https://microinversor.com.br/dah-datasheet-dhp72-315w-330w.pdf. Acesso em 18 abr. 2023.

HAYKIN, Simon. Sinais e sistemas. Porto Alegre: Bookman, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 21348: **Space environment (natural and artificial):** process for determining solar irradiances. 2007.

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano nacional de energia**: PNE 2050. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2021.

MOREIRA, José. R. Simões. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

NEVES, G. M. Influência do espectro da radiação solar em módulos fotovoltaicos. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

RODRÍGUEZ GÓMEZ, J. M. et al. **A irradiância solar:** conceitos básicos. Revista Brasileira de Ensino de Física, São José dos Campos, v. 40, n. 3, 2018.

SCOPACASA, V. Qualidade de luz: estão os Leds prontos para substituir as fontes de luz tradicionais? O setor elétrico, 2018. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/qualidade-de-luz. Acesso em: 21 out. 2022.

TRANNIN, M. T. **Desafios e oportunidades para a geração de energia elétrica por fontes renováveis no Brasil:** estudo de caso sobre a Usina híbrida de Tacaratu (PE). FGV Energia: 2016. Disponível em: http://hdl.handle.net/10438/19210. Acesso em: 21 out. 2022.

### ANALYSIS OF POWER AND IRRADIATION OF LAMPS APPLIED IN DIDACTIC EQUIPMENT FOR ENGINEERING TEACHING

**Abstract:** The Faculdade de Tecnologia Senai Londrina has set out to develop a didactic equipment for teaching solar generation, composed of three structures: a set of solar panels, a structure with a set of lamps, and an activation bench for tracking applications. The equipment emulates photovoltaic generation during the night period, allowing students to apply their theoretical knowledge to practical experience. The study developed the structure with a set of lamps and focused on the study of appropriate power and irradiation for use in the equipment. The simulation results and methodology applied concluded that there is an intrinsic relationship between the wavelength and the power generated by the photovoltaic module, enabling the extraction of the best possible power. It is also noted that tracking the maximum power curve can increase the efficiency of photovoltaic energy generation. The use of halogen lamps generated twice the power compared to metal vapor lamps. The application of digital filters validated the preprocessing stage for the development of a tracking system. The didactic equipment aims to help students apply their theoretical knowledge to practical experience, with solar energy being one of the most promising options for energy transition for environmental and economic sustainability.

*Keywords:* educational, solar generation, photovoltaic module, tracking system, sustainability.



