



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
RIO DE JANEIRO  
Campus Nilópolis

Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências  
Mestrado Profissional em Ensino de Ciências  
Campus Nilópolis

## INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



PLANEJAMENTO DA DISCIPLINA  
FUNDAMENTOS DE SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS

*Alexandre da Silva Barcellos*  
*Alexandre Lopes de Oliveira*



# INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

*PLANEJAMENTO DA DISCIPLINA FUNDAMENTOS DE  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS*

*Alexandre da Silva Barcellos  
Alexandre Lopes de Oliveira*

Nilópolis, 2022



## *Dedicatória*

Dedico esta obra a toda minha família por todo amor, apoio, carinho e confiança no meu trabalho e, em especial, aos meus queridos pai e mãe, o Sr. Rudinei Gomes de Azevedo e a Sra. Maria Helena da Silva, que sempre olharam e vibraram por mim.



Este material instrucional pedagógico foi gerado a partir da dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências intitulada “APLICAÇÕES DIDÁTICAS DE UMA CÉLULA SOLAR CONSTRUÍDA COM LED: um ensaio experimental didático para a disciplina Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica no Curso FIC Instalador de Sistemas Fotovoltaicos”, defendida em 21 de julho de 2022, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), *Campus Nilópolis-RJ*. O presente recurso didático-pedagógico foi aprovado pela banca avaliadora da defesa de dissertação.

### ***REVISÃO CIENTÍFICO-TEXTUAL***

Prof. Titular Vítor Luiz Bastos de Jesus  
*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro*  
*(IFRJ)*

Prof. Titular Augusto Cesar de Castro Barbosa  
*Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)*





## PREFÁCIO

Caro professor, este material instrucional pedagógico foi gerado a partir da dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ensino de Ciências Mestrado Profissional em Ensino de Ciências, Campus Nilópolis, intitulada “APLICAÇÕES DIDÁTICAS DE UMA CÉLULA SOLAR CONSTRUÍDA COM LED: um ensaio experimental didático para a disciplina Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica no Curso FIC Instalador de Sistemas Fotovoltaicos”.

A proposta deste material é servir como um guia didático para o ensino da disciplina e ele conta com os seguintes conteúdos:

- Breve apresentação sobre energia solar e os princípios físicos de funcionamento das células solares.
- Apresentação do experimento “células” solar construída com LED e os resultados obtidos nos ensaios realizados.
- Estratégia metodológica para condução das aulas e aplicação do recurso didático experimental.

Além dos conteúdos citados, para aqueles que desejarem desenvolver pesquisas no campo do ensino, encontra-se também nesse material, conteúdo sobre metodologia para o ensino - Metodologia Ativa por Instrução pelos Colegas (IpC), metodologia para a pesquisa - Delineamento Quase Experimental e análise dos resultados utilizando-se a Análise Estatística pelo Ganho de Hake normalizado.



## Sumário

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
2. ELEMENTOS SOBRE A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM ELÉTRICA .....	2
2.1 PANORAMA SOBRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	2
2.2 PRINCÍPIOS FÍSICOS DA CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM ELÉTRICA .....	3
2.2.1 Células fotovoltaicas.....	11
3 ESTRATÉGIA DE APLICAÇÃO DO RECURSO DIDÁTICO.....	18
3.1 PROPOSTA DIDÁTICA .....	18
3.2 Sequência didática .....	19
3.3 Os testes avaliativos.....	22
3.3.1 Estratégia de obtenção das respostas dos testes avaliativos .....	23
3.4 AVALIAÇÃO .....	25
4. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS .....	26
4.1 descrição do material .....	30
4.1.1 LED .....	30
4.1.2 Lâmpada halógena .....	31

4.1.3 Suporte para apoio das células .....	32
4.1.4 Jumper .....	32
4.1.5 Aparelho multímetro .....	33
4.1.6 Base de realização dos experimentos .....	34
4.1.7 Anteparo translúcido .....	35
4.1.8 Relógio digital .....	35
4.1.9 Placa prototipada .....	36
4.1.10 Potenciômetro .....	37
4.2 Resultado dos experimentos .....	37
4.2.1 LED como “célula solar” – uma fonte de energia elétrica .....	37
4.2.2 Variação da geração de energia pela "célula solar" em função de sua posição em relação à fonte de luz .....	38
4.2.3 Variação da geração de energia pela "célula solar" devido à presença de uma tela construída com papel translúcido entre ele e a fonte .....	41
4.2.4 Curvas $I-V$ e $P-V$ da “célula solar” .....	42
6. suplementação para a pesquisa .....	44
6.1 metodologia ativa ipc .....	44
6.2 DELINEAMENTO QUASE EXPERIMENTAL .....	48
6.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA PELO GANHO DE HAKE NORMALIZADO .....	51
REFERÊNCIAS .....	1
APÊNDICE 1: Testes Avaliativos .....	6



# 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O modo como a sociedade tem se organizado e se desenvolvido está atrelado à obtenção de energia e transformação do meio ambiente. Ao longo da história ficou evidente a carência de energia para subsidiar o progresso em todos os aspectos da vida humana. Atualmente, a fonte primária de energia que se estabeleceu praticamente no mundo todo, baseada em combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural), tem apresentado sinais de esgotamento e causado problemas ambientais.

Na tentativa de contornar o problema da utilização de combustíveis fósseis, uma das medidas que vem sendo experimentada por alguns países é a substituição desses por fontes de energias limpas e renováveis em suas matrizes elétricas.

Dentre as fontes de energias renováveis, a solar fotovoltaica tem grande potencial de crescimento, podendo atingir 40% de toda matriz energética do planeta até 2050, segundo relatou o presidente da Associação brasileira de energia solar fotovoltaica (ABSOLAR) num Workshop Energia – Energia Solar Fotovoltaica, realizado em 2010, na sede da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), em São Paulo [1].

Diante do exposto, entender o que é essa tecnologia e refletir sobre a sua utilização e os impactos que ela possa causar no meio ambiente e na vida do cidadão, atualmente, é bastante relevante. Portanto, promover o debate e mostrar à população que ela é uma opção ao uso dos combustíveis fósseis, à diminuição da dependência das hidrelétricas, que apesar de limpa e renovável, causam grandes impactos ambientais, pode levar a uma mudança de postura por parte da sociedade e, conseqüentemente, projetar um futuro melhor, com menos poluição e com maior preservação dos recursos naturais.

## **2. ELEMENTOS SOBRE A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM ELÉTRICA**

### **2.1 PANORAMA SOBRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

As tecnologias que utilizam o princípio fotovoltaico são usadas tanto na Terra quanto no espaço e tem princípio de funcionamento baseado na transformação direta da radiação solar em energia elétrica. Esse fenômeno só é possível devido às células solares, que são fundamentalmente constituídas por dois contatos metálicos e duas pastilhas semicondutoras com dopagens distintas. A conversão de energia ocorre quando uma diferença de potencial elétrica ( $\Delta V$ ) se estabelece nas extremidades dos contatos metálicos, a partir da incidência de luz sobre o material semicondutor [2].

A descoberta do efeito fotovoltaico é por vezes atribuída ao físico francês Edmond Becquerel (1820–1891), que observou que a ocorrência de algumas reações químicas induzidas pela luz produzida por correntes elétricas, em 1839. Contudo, a devida compreensão deste fenômeno físico só foi possível após Albert Einstein (1879–1955), em 1905, ter realizado a interpretação desse efeito por um modelo corpuscular para a luz, que passava a ser entendida também como pacotes de energia, denominados fótons [3].

A primeira célula solar moderna foi apresentada em 1954. Seu tamanho era de dois centímetros quadrados e gerava cerca de 5 mW de potência elétrica. Cinquenta anos depois, em 2004, foram produzidas cerca de mil milhão de células, ultrapassando pela primeira vez a barreira de 1 GW de potência elétrica anual instalada [4].

Hoje o cenário mundial relacionado à fonte de energia solar fotovoltaica é de otimismo e crescimento. Os quatro países que mais se destacam no mercado mundial de energia solar fotovoltaica são a China, líder do *ranking* desde 2015, os Estados Unidos da América (EUA), Japão e a Alemanha [5].

No Brasil a situação ainda é um pouco tímida, quando comparada com os países que ocupam o topo do *ranking* em produção de energia solar. Atualmente a sua geração está em torno de 2,3 GW, sendo que 16,2% se apresentam na modalidade de geração distribuída e 83,8% em projetos de geração centralizada. Segundo Bezerra [6], esse é um número ainda insignificante, quando comparado ao total de 141 GW de capacidade instalada de energia elétrica, na matriz elétrica brasileira.

Uma das possíveis explicações para esse cenário em que o Brasil se encontra frente aos números internacionais pode estar relacionada ao grande potencial brasileiro para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

Essas fontes apresentam um potencial total de 805 GW de potência e o Brasil tem apenas uma capacidade instalada de 170 GW, representando que ainda pode crescer muito em termos de produção de energia. Desse total, 172 GW é para a fonte hídrica, 440,5 GW para a fonte eólica e 28.519 GW para a fonte solar em projetos centralizados e 164,1 GW para essa fonte em projetos residenciais de geração distribuída.

Portanto, são enormes as possibilidades de investimentos para suprir as necessidades do País por meio das fontes renováveis, particularmente com a utilização dos recursos solar.

## 2.2 PRINCÍPIOS FÍSICOS DA CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM ELÉTRICA



A compreensão do fenômeno físico que ocorre na célula solar está relacionada com a física dos semicondutores.

Os semicondutores são um grupo de materiais que apresentam condutividade elétrica entre os metais e os isolantes e um dos principais representantes é o Silício (Si).

O Si, quando ligado para formar um cristal, apresenta uma estrutura cristalina tetraédrica, similar à do carbono, como mostrado na Figura 2.1. Ele possui alta eletronegatividade e por isso pode estabelecer ligações químicas entre si por meio do compartilhamento de seus elétrons desemparelhados mais externos, na camada de valência. Esse compartilhamento de elétrons exige a formação de um orbital molecular que deve ser feito aos pares, pelo fato de que em um orbital somente pode existir dois elétrons.

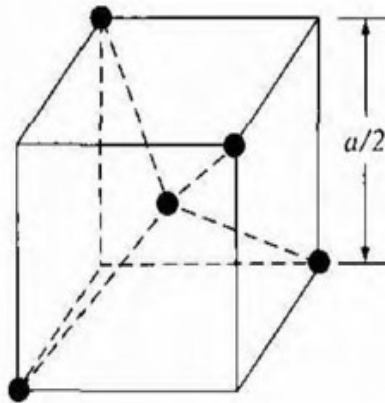


Figura 2.1 Estrutura tetraédrica de uma célula fundamental numa rede de um cristal de Si.

Fonte: [7]

Para que ocorra a formação de uma molécula, os átomos devem interpenetrar seus orbitais atômicos semipreenchidos formando um único orbital molecular, num processo conhecido

como *overlap* (região onde a probabilidade de encontrar elétrons compartilhados é máxima) [2].

A distribuição eletrônica para o átomo de Si é  $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$ . Portanto, na camada de valência (camada M) existem quatro elétrons distribuídos nos subníveis *s* e *p* ( $3s^2, 3p^2$ ) em que, no estado fundamental, aparecem dispostos conforme Figura 2.2(a). Na formação da molécula, quando os átomos se aproximam, ocorre uma alteração nos níveis de energia dos elétrons de valência devido a ação do campo elétrico de um átomo sobre o outro. Nessas condições o átomo entra no estado excitado, como mostrado na Figura 2.2(b) e, na ligação, ocorre a hibridização, vista na Figura 2.2(c).

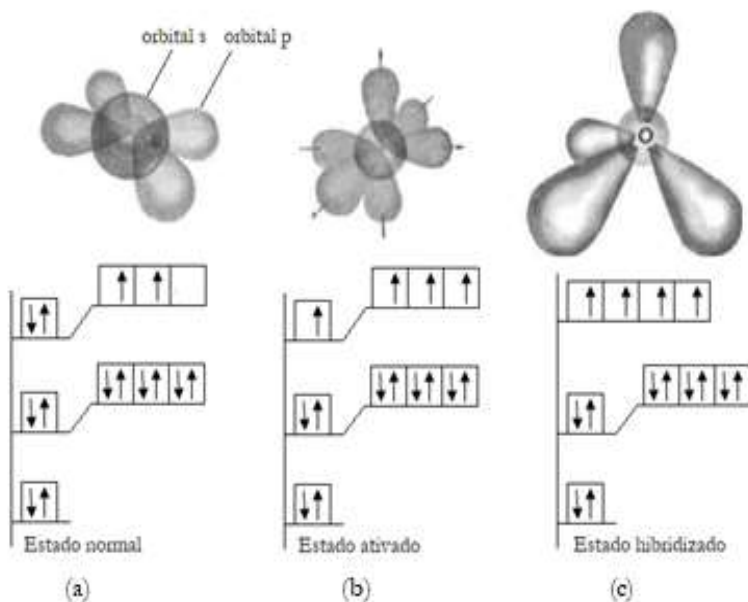


Figura 2.2 Hibridização do Si no processo de formação da molécula.

Fonte: próprio autor.

Sendo assim, um cristal de Si assume a forma como é apresentada na Figura 2.3. O ângulo entre os eixos dos orbitais hibridizados é de  $109,5^\circ$ .

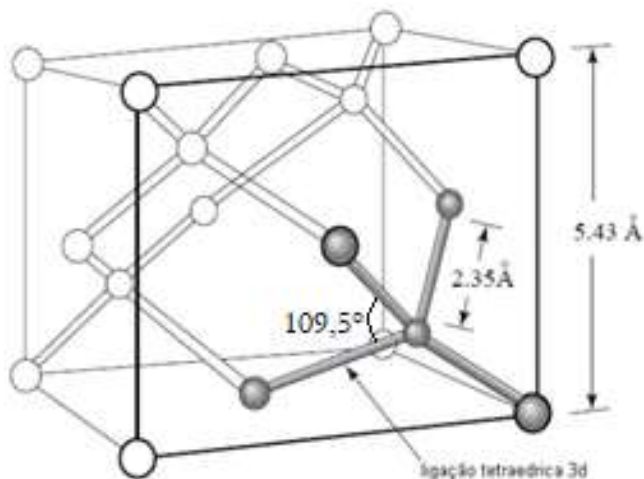


Figura 2.3 Estrutura do carbono para um cristal de carbono.

Fonte: [8]

Para entender as características de condução dos semicondutores, um caminho é a análise dos estados quânticos permitidos do elétron num átomo. A investigação mostra que a energia de ligação dos elétrons é quantizada e os estados que o elétron pode ou não ocupar são discretos. Porém, quando essa análise é realizada num cristal, percebe-se que, devido ao fato de os átomos estarem ligados e em equilíbrio, para um mesmo número quântico, há uma sobreposição dos níveis de energia dos elétrons, formando “bandas de energia”, em que os elétrons podem ou não ocupar [2]

Na Figura 2.4 está exemplificado o processo de formação de uma banda de energia mostrando as funções de densidade de probabilidade radiais para dois átomos de hidrogênio (H), em seus

estados mais baixos de energia. Na Figura 2.4(a) está representada a função de densidade de probabilidade do átomo de H, sem interação com qualquer outro átomo. Em 2.4(b) a Figura mostra as funções de densidade de probabilidade radiais quando há a interação entre dois átomos de H. Essa interação resulta em dois níveis discretos quantizados de energia, como mostrado na Figura 2.4(c).

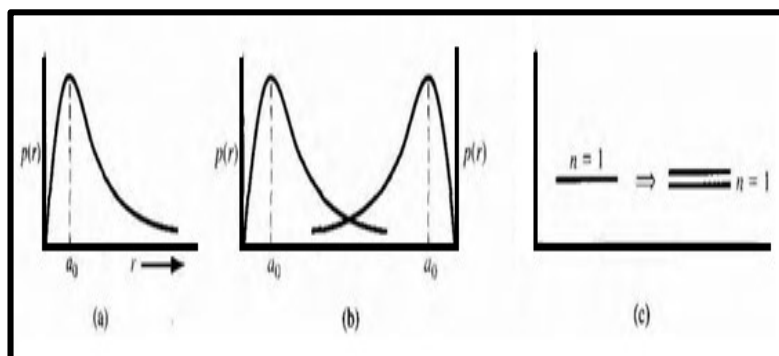


Figura 2.4 (a) Densidade de probabilidade de um átomo isolado. (b) Sobreposição das duas funções de densidade de probabilidade dos átomos adjacentes. (c) Formação da banda de energia para o estado  $n = 1$

Fonte: [2], adaptado.

Extrapolando a ideia de formação de banda por dois átomos de H para um cristal de Si, tem-se, como mostrado na Figura 2.5, três regiões denominadas: banda de valência, banda proibida (*band gap*) e banda de condução. Após o *overlap* dos  $N$  elétrons dos átomos no cristal, em cada banda, a de valência e a de condução, há  $4N$  estados por átomos.

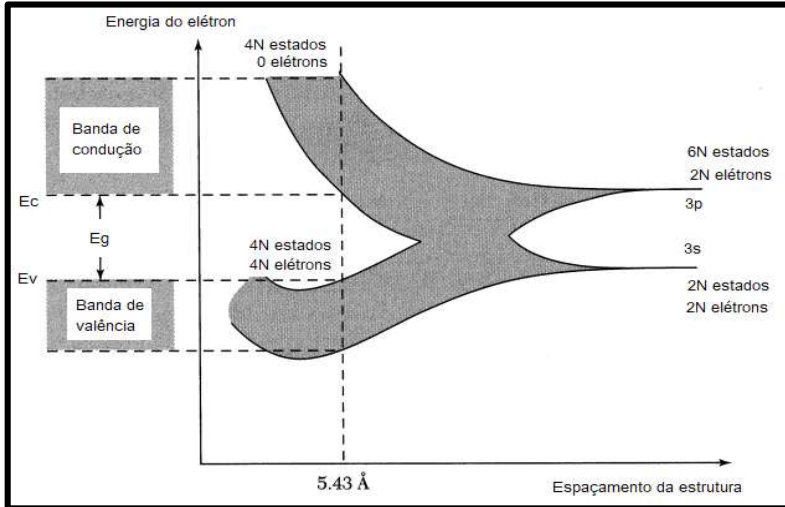


Figura 2.5 Configuração das bandas de energia para a camada de valência num cristal de Silício.

Fonte: [2]

A parte inferior da banda de condução é chamada de  $E_c$  e o topo da banda de valência é chamada de  $E_v$ . A região entre as bandas de valência e condução ( $E_c - E_v$ ) é denominada de banda proibida  $E_g$  ou *gap*. Fisicamente,  $E_g$  é a energia necessária para elevar um elétron da banda de valência para a banda condução, deixando assim um buraco na banda de valência.

Na temperatura próxima ao zero absoluto os elétrons ocupam os estados de mais baixa energia, a banda de valência, de modo que todos os estados da banda superior, a banda de condução, apresentam-se vazios. Nessa condição não há elétrons livres e o Si se comporta como um isolante. Contudo, à temperatura ambiente e condições normais de pressão, a energia térmica de excitação é suficiente para fazer com que os elétrons vençam a barreira imposta pela banda proibida e cheguem à banda de condução. Como existem muitos estados vazios na banda de condução, uma pequena diferença de potencial elétrico pode

facilmente mover esses elétrons, resultando em uma corrente elétrica moderada [2].

O Si, em sua configuração natural, é denominado de semicondutor intrínseco. Nessa condição, quando um elétron deixa a banda de valência e salta para a banda de condução gera-se um buraco na banda de valência. Esse buraco pode ser considerado uma carga positiva. Para os semicondutores intrínsecos, cada elétron que acessa a banda de condução cria, na banda de valência, um buraco com carga de sinal oposto ao do elétron. Essa movimentação de elétrons e buracos não muda a carga elétrica do átomo, que se mantém nula.

Contudo, para algumas finalidades práticas, os semicondutores intrínsecos podem ter as características elétricas alteradas se forem associados a outros átomos. Quando isso ocorre, diz-se que o semicondutor foi dopado com outros elementos químicos e, então, eles passam a ser denominados de semicondutores extrínsecos. Os elementos normalmente usados para o processo de dopagem dos semicondutores intrínsecos são aqueles pertencentes às famílias IIIA e VA, da tabela periódica. Semicondutores dopados, apesar de apresentarem desequilíbrio entre os números de portadores de carga positiva (lacunas) e carga negativa (elétrons), não deixam de serem neutros eletricamente.

Quando um cristal de Si é dopado com elementos da família IIIA, tal como o Boro (B), os três elétrons do B formam ligações covalentes com três elétrons de Si e deixa um sem ligação, gerando uma lacuna com “carga positiva, como mostrado na Figura 2.7(a). Numa rede cristalina, com o processo de dopagem, vários buracos são gerados e esse semicondutor extrínseco é denominado de semicondutor do tipo P.

Pensando agora numa dopagem de um cristal de Si com elementos da família VA, tal como o Antimônio (Sb), os cinco elétrons de valência do Sb formam ligações covalentes com os

quatro elétrons de valência do Si e um elétron não participa da ligação, gerando uma “carga negativa”, como mostrado na Figura 2.7(b). Numa rede cristalina, a partir desse processo de dopagem, vários elétrons sobram e esse semiconductor extrínseco recebe o nome de semiconductor do tipo N.

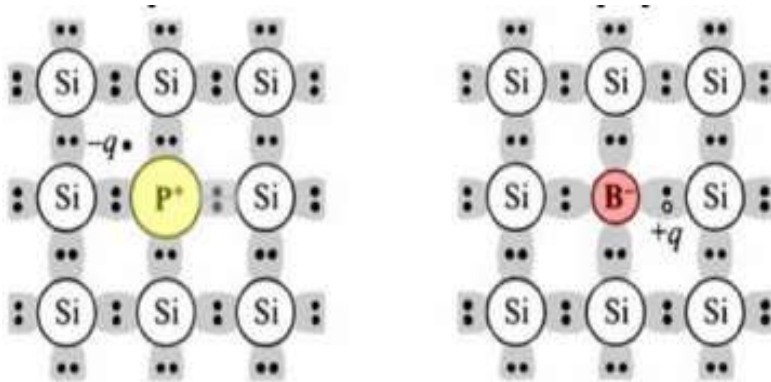


Figura 2.7 (a) Dopagem tipo P do cristal de Si com elemento da família IIIA (Boro). (b) Dopagem tipo N do cristal de Si com elemento da família VA (Fósforo).  
Fonte: [9]

Quando ocorre a junção de dois semicondutores dopados com materiais tipo N e tipo P, na fronteira entre eles, estabelece-se um fluxo de elétrons livres da região N para a região P, por um processo conhecido como difusão, ocupando as lacunas nessa região. Esse processo de movimentação de elétrons da região N para a P polariza os dois lados e gera um campo elétrico cujo sentido é do lado N para o lado P, como mostrado na Figura 2.8. Esse campo elétrico é o responsável por estabilizar a região entre os dois lados N e P devido à força do campo elétrico sobre os elétrons, contrária à força de Coulomb. Essa região é conhecida como região de depleção e a diferença de potencial, para uma

temperatura de 25°C, nesta região é de 0,7V para o Silício e 0,3V para o Germânio [10].

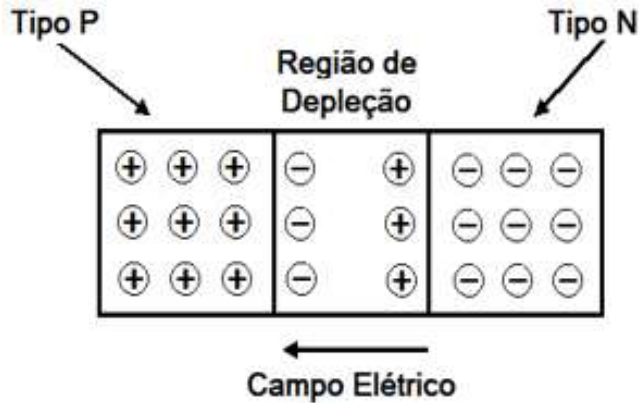


Figura 2.8 Região de depleção entre os dois semicondutores tipos N e P e o campo elétrico gerado no processo de difusão de cargas de um semicondutor para outro.

Fonte: próprio autor.

### 2.2.1 Células fotovoltaicas

De acordo com Pinho e Galdino [11] “as células fotovoltaicas podem ser entendidas essencialmente como diodos (junções PN) de grande área, preparadas especialmente para que ocorra o efeito fotovoltaico”. Essas células destinam-se a converter energia radiante de uma fonte luminosa diretamente em energia elétrica, através de um processo denominado de efeito fotovoltaico.

O efeito fotovoltaico ocorre quando a luz incide sobre uma junção P-N. Nessa ocasião, os fótons de luz com energia superior à energia de *gap* do material atingem os elétrons fornecendo-lhes energia suficiente para que eles saltem para a banda de condução, gerando-se assim um par elétron-lacuna. A absorção da luz



aumenta drasticamente a geração dos pares elétron-lacuna para além da geração que advém da excitação térmica, por exemplo. Devido ao campo elétrico, os elétrons movem-se para a região tipo N, enquanto as lacunas deslocam-se para a região tipo P, formando polos elétricos [12].

Assim, se um fio condutor for utilizado para ligar a região do tipo N à região do tipo P, verifica-se que o excesso de elétrons do lado N irá movimentar-se através do fio condutor de modo a se combinarem com o excesso de lacunas existentes no lado P, ocasionando uma corrente eléctrica, conforme representado de modo esquemático na Figura 2.9.

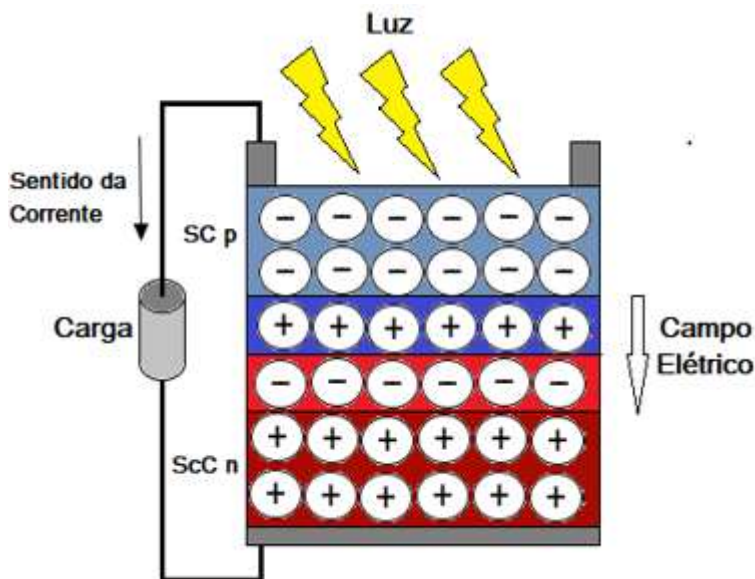


Figura 2.9 Fluxo de elétrons através de um condutor interligado entre os terminais PN de uma célula fotovoltaica.

Fonte: próprio autor.

As células fotovoltaicas são a base dos módulos presentes hoje no mercado para venda. Esses módulos fotovoltaicos são

compostos, em geral, por 72 células, mas isso pode variar dependendo da potência que eles fornecem. A Figura 2.10(a) mostra uma célula típica encontrada nos módulos. Elas são interligadas em série e dispostas sob uma camada de vidro, protegidas por uma estrutura metálica para dar a devida resistência ao módulo fotovoltaico, como mostrado na figura 2.10(b).

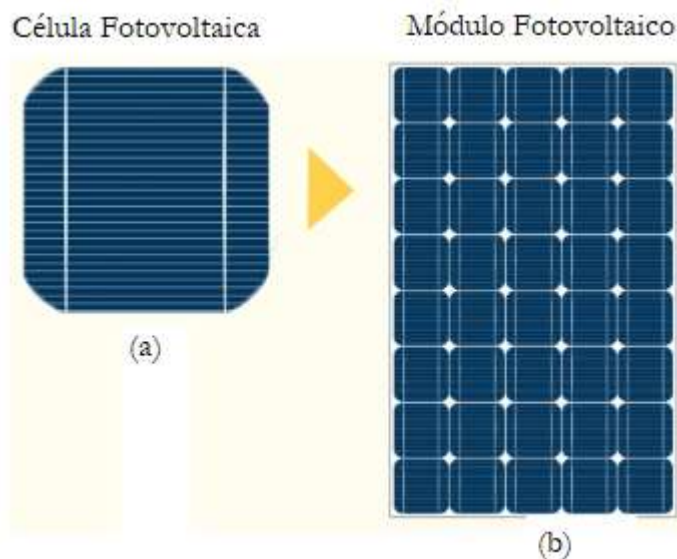


Figura 2.10 Representação de uma célula e um módulo fotovoltaico.  
Fonte: [13] adaptado.

As características elétricas de um módulo fotovoltaico podem ser determinadas através de ensaios tomando algumas condições como padrão, tais como temperatura e irradiância. Em laboratório, os módulos fotovoltaicos comerciais são ensaiados sob *standard test condition* (STC), ou condições padrão de teste, e suas características são apresentadas nas folhas de dados fornecidas pelos fabricantes [14].

As três grandezas elétricas mais relevantes nos projetos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos são a potência, tensão e corrente. Conhecer o comportamento dessas grandezas diante das condições climáticas e do posicionamento dos módulos em relação ao norte geográfico e à superfície da Terra, é bastante importante quando se deseja entender os princípios de funcionamento de um sistema de geração de energia fotovoltaica.

O comportamento da tensão e da corrente é bastante influenciado pelas condições climáticas. Em dias de tempo nublado a corrente que o módulo pode fornecer é bem menor do que em dias ensolarados, sendo a corrente depende diretamente da radiação que incide sobre o módulo. A tensão, por sua vez, sofre influência maior com a variação da temperatura. Em dias mais quentes, a tensão fornecida pelos módulos será menor do que em dias mais frios. A variação na incidência da radiação solar e na temperatura, acabam por definir a potência de saída dos módulos.

A Figura 2.11(a) mostra o comportamento da corrente em função da variação da radiação incidente nos módulos, destacando que, com a diminuição da radiação, há uma queda acentuada no fornecimento de corrente e uma variação mínima da tensão nos terminais do módulo. Na Figura 2.11(b), é mostrada a variação da temperatura e o que acontece, principalmente, com a tensão. Nesse caso ela sofre uma variação maior do que a corrente, tendo o seu valor diminuído, na medida que a temperatura aumenta.

A potência de um módulo pode ser encontrada calculando-se a área sob a curva num gráfico de corrente por tensão (I-V). Entretanto, é mais comum apresentar o comportamento da potência por meio de um gráfico de potência por tensão, como mostrado na Figura 2.12. Como pode ser visto no gráfico, a máxima potência que o módulo pode fornecer ocorre no ponto ( $I_{mp}$ ,  $V_{mp}$ ), corrente em potência máxima e tensão em potência máxima.

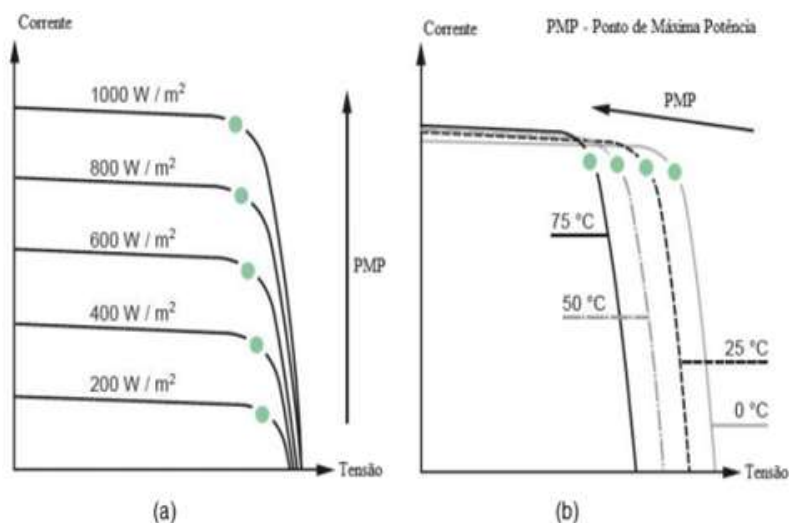


Figura 2.11 Curvas características de Corrente x Tensão de um painel fotovoltaico, com os efeitos da radiação (a) e temperatura (b).

Fonte: [15]

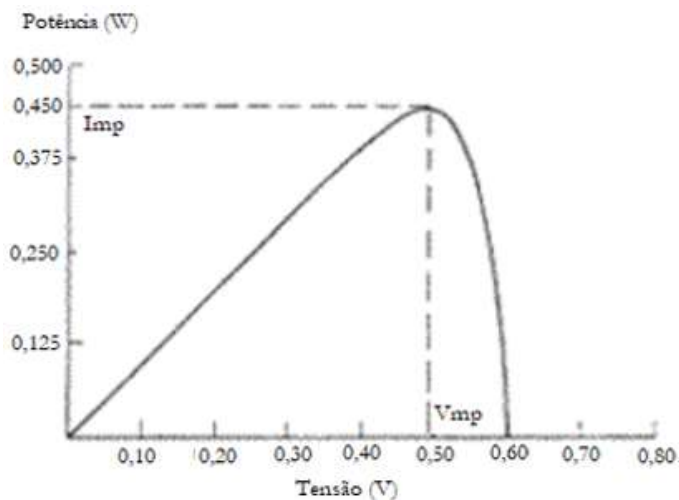


Figura 2.12 Curva de potência com relação à variação de tensão no módulo.

Fonte: [16]

O posicionamento dos módulos voltados para a passagem do sol ao longo do dia também influencia na geração de energia. Nesse sentido, encontrar o melhor ângulo de inclinação do painel ( $\beta$ ) em relação ao plano horizontal e o ângulo azimutal ( $\gamma$ ), o ângulo entre a projeção da normal à superfície e o plano do meridiano local, conforme mostrado na Figura 2.13, maximiza o aproveitamento da radiação solar e, conseqüentemente, a geração de energia.

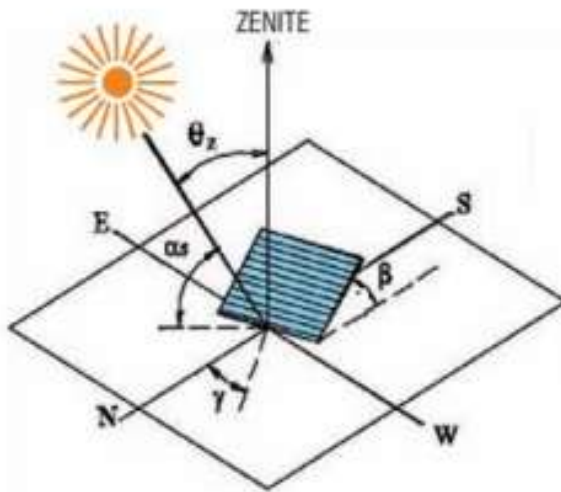


Figura: 2.13 Ângulos solares.

Fonte: [17]

Sendo os módulos fotovoltaicos os responsáveis pela captação da luz do Sol e transformação em energia elétrica, por meio de suas células, definir cuidadosamente o posicionamento deles em relação ao Sol significa maximizar a geração de energia. Nesse sentido, conhecer os fundamentos relacionados com as

instalações dos módulos, para o curso FIC em questão, seria bastante relevante para a formação dos discentes que almejam qualificação nesse campo de trabalho.

## **3 ESTRATÉGIA DE APLICAÇÃO DO RECURSO DIDÁTICO**

### **3.1 PROPOSTA DIDÁTICA**

A proposta didática está prevista para ocorrer numa sequência de quatro aulas com 4h cada, computando uma carga horária total de 16h.

Pensando nas relações de ensino e aprendizagem, no papel do professor e do aluno, essa proposta baseia-se nas metodologias ativas, por apresentarem uma dinâmica diferente na “tradicional”, em que o aluno assume uma posição mais central nesse processo, diferentemente do consagrado método tradicional.

Nesse percurso há um deslocamento da perspectiva do professor (ensino) para o estudante (aprendizagem), um desvio do foco do docente para o aluno, que assume a corresponsabilidade pelo seu aprendizado. Portanto o professor deixa de ser o único responsável por ensinar o conteúdo e passa a dividir essa tarefa com outros meios e pessoas que serão consultados pelo aluno na busca do conhecimento [18].

Além das aulas teóricas, há também as atividades experimentais, que expressam a sua importância didático-pedagógica quando, na aplicação de uma teoria para a resolução de problemas, ela amplia o entendimento do conteúdo e dá significado à aprendizagem, constituindo-se como uma verdadeira atividade teórico-experimental [19].

As aulas podem ser iniciadas com uma breve introdução sobre o conteúdo do dia, passando em seguida para a aplicação de um teste avaliativo e discussão das respostas entre os alunos, divididos em grupos. Os testes podem ser projetados no quadro, com uso de um Datashow, ou mesmo serem aplicados mediante folha impressa.

Após a discussão entre os alunos nos grupos, o professor anota as respostas dadas por eles às questões do teste e, em seguida, realiza uma explanação do conteúdo. Próximo do término da aula, o professor retoma o teste, realizando uma nova aplicação. Os alunos, nesse momento, reavaliam suas respostas e as reapresentam para um novo registro. Finalmente o professor encerra a aula, fazendo as devidas considerações sobre o conteúdo apresentado.

### 3.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática proposta para a disciplina de Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica apresenta seu conteúdo distribuído como apresentado na tabela 3.1 a seguir.

AULA	CONTEÚDO
aula 1.	Fontes renováveis e não renováveis de energia; Estatísticas globais e nacionais de uso da energia; Situação energética brasileira; Legislação vigente (RN 482, RN 687, normas de concessionárias locais;
aula2.	Insolação; Irradiação solar; Tipos de irradiação solar; Movimento relativo Terra – Sol;
aula 3.	Grandezas relacionadas com a irradiação solar (tipos); Medição das grandezas relacionadas com a irradiação solar (equipamentos e estações solarimétricas); Valores típicos da irradiação solar no Brasil;
	Fontes de dados de valores da irradiação solar;
aula 4.	Conversão direta da irradiação solar em calor e em eletricidade (sistemas básicos); Escolha do posicionamento ideal para maximizar a energia captada; Utilização de dispositivos auxiliares para
	caracterização de sistemas solares tais como bússola, trena, inclinômetro.

Tabela 3.1 Conteúdo programático da disciplina Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica.

Fonte: próprio autor

#### 3.1.1.1 Aula 1

Nessa primeira aula o professor apresenta o conteúdo da disciplina, o cronograma do curso e a metodologia ativa IpC a ser



utilizada. Comenta sobre os testes avaliativos do conhecimento que serão aplicados e a importância de usá-los para o acompanhamento da aprendizagem. Explica a estratégia de obtenção das respostas dos testes, que será adotada para dinamizar a aula e esclarece que haverá a realização de experimentos nos momentos em que forem pertinentes.

O tema da primeira aula é Fontes renováveis e não renováveis de energia e Estatísticas globais e nacionais de uso da energia. O assunto em questão pode ser apresentado a partir de uma breve explicação, por parte do professor, sobre o conceito de energia, as diversas formas em que ela se apresenta e a sua definição física. Pode-se também pontuar a situação energética no Brasil e no mundo e as suas implicações no cenário político social atual.

Contudo, a introdução não deve ser muito longa e detalhada, apenas alguns tópicos motivadores, pois em seguida será proposto a realização do primeiro teste avaliativo (Teste avaliativo 1 – consta no Apêndice 1). O aluno deve realizá-lo individualmente dentro de um tempo pré-estabelecido e, em seguida, discutir suas repostas com os colegas do grupo. Então, depois dessa etapa, segue a apresentação das respostas através do cartão resposta.

Dando seguimento à aula, o professor realiza a explicação do conteúdo e, próximo do término, reaplica o teste avaliativo 1 retomando a sequência inicial de resolução, debate e apresentação das novas respostas. Para concluir a aula, as devidas considerações sobre o tema trabalho em sala são feitas pelo professor.

### 3.1.1.2 AULA 2

A sequência da segunda aula é a mesma da primeira, breve introdução sobre o conteúdo situação energética brasileira; Legislação vigente (RN 482, RN 687), normas de concessionárias locais; aplicação do segundo teste avaliativo (Teste avaliativo 2),

abertura de espaço para discussão do assunto e obtenção das respostas pelo método já mencionado; então o professor da sequência à aula sistematizando o conteúdo. Para finalizar, o teste deve ser reaplicado e o docente anotar os novos resultados. Após isso, ele reabre o debate e finaliza a aula.

### 3.1.1.3 AULA 3

A terceira aula trata dos conteúdos relacionados com a medição da irradiação solar, equipamentos e estações solarimétricas e conversão da irradiação solar em eletricidade. O início dela pode conter uma breve introdução sobre o assunto, aplicação do teste avaliativo (Teste avaliativo 3), debate em grupo entre os colegas e apresentação das respostas.

Após esses primeiros passos, o professor inicia a verificação prática dos fenômenos da irradiação, apresentando aos alunos o experimento: "célula solar" geradora de energia, em que demonstra o funcionamento de um relógio digital ligado na "célula solar".

A etapa seguinte é a discussão sobre os experimentos, explanação do conteúdo e retomada do teste avaliativo, com debate em grupo e apresentação das repostas através dos cartões. A aula termina com as considerações finais do professor, tendo como base as novas respostas dos alunos das questões do teste.

### 3.1.1.4 AULA 4

Esta é a última aula dessa disciplina e, portanto, guarda outras etapas que não estão presentes nas aulas intermediárias. Nela, além da aplicação do conteúdo, baseado na metodologia e do processo de avaliação sugeridos neste trabalho, da apresentação das experiências 2, 3 e 4, há as considerações finais, a apresentação

dos resultados dos testes avaliativos para os alunos e o feedback por ambas as partes, além do encerramento da disciplina.

O conteúdo tratado nessa aula está relacionado com a escolha do posicionamento ideal para maximizar a energia captada, sombreamento e utilização de ferramentas. No que diz respeito à geração de energia em função da posição dos módulos solares em relação ao Sol e do bloqueio da luz do Sol por nuvens ou outros objetos, o professor utilizará os experimentos 3 e 4 para demonstrar a ocorrência desses fenômenos.

- Experiência 2: variação da geração de energia pela "célula solar" em função da sua posição em relação à fonte de luz.
- Experiência 3: variação da geração de energia pela "célula solar" devido à presença de uma tela construída com papel translúcido entre ela e a fonte.
- Experiência 4: plotagem da curva  $I-V$  da "célula solar", demonstra as relações entre as grandezas elétricas através da curva  $I-V$ .

Seguindo à metodologia adotada, após a demonstração dos fenômenos através dos experimentos, o professor inicia o debate, colhe as repostas e finaliza a explicação do conteúdo abordando pontos de maiores destaques observados no teste.

### 3.3 OS TESTES AVALIATIVOS

Segundo Manzur [20] a IpC tem como objetivos “explorar a interação entre os colegas durante as aulas expositivas e focar a atenção dos estudantes nos conceitos que servem de fundamento”. Para isso o professor, usando esse método, faz a explicação inicial do conteúdo, aplica o teste conceitual, como é chamado originalmente pelo autor dessa metodologia, e abre espaço para

debates entre os alunos sobre as respostas dos testes. Após essa etapa, ele avalia a porcentagem de acerto das respostas para decidir se prossegue para um novo tópico do conteúdo ou o explica novamente.

Nesta proposta, o teste conceitual é chamado de teste avaliativo e há uma distinção quanto ao método IpC, na etapa de avaliação do aprendizado e retomada das explicações. Neste caso, a proposta conta com um teste avaliativo inicial após uma breve explanação introdutória do assunto e outro após a explicação do conteúdo. Não há o momento de decisão por parte do professor de seguir em frente ou não baseado na porcentagem de acertos no teste avaliativo.

Entretanto, mesmo não ocorrendo as avaliações ponto a ponto do aprendizado através dos testes, acredita-se que a técnica proposta aqui pode também trazer um bom *feedback* inicial, obtendo-se bons resultados quanto a evolução do conhecimento, utilizando um teste para ponderar a compreensão inicial do aluno, aquela que ele traz consigo devido a sua experiência de vida, e outro depois da explicação do assunto por parte do professor, obtendo assim duas avaliações para comparar o progresso do aluno no conteúdo proposto.

A dinâmica de proposição dos testes avaliativos conta com: proposição das questões, tempo para que os alunos respondam a elas e debatam entre si, apresentação das respostas para o professor através do cartão resposta.

### **3.3.1 Estratégia de obtenção das respostas dos testes avaliativos**

Atualmente há diversas maneiras de se obter o *feedback* imediato sobre o nível de compreensão dos alunos [20]. Pode-se pedir para que eles levantem as mãos, usem dispositivos

eletrônicos portáteis, levantem cartões codificados entre outras. Neste trabalho, a proposta será através do uso de cartões respostas, distribuídos aos alunos, no início do curso, contendo as alternativas de respostas que constam nos testes avaliativos, como ilustrado na Figura 3.1. Assim que o tempo pré-estabelecido para solução do teste avaliativo e debate for atingido, será pedido aos alunos que levantem os cartões que correspondem às suas respostas para cada pergunta do teste. Nesse momento o professor poderá anotar as respostas dadas às questões para possível avaliação estatística da evolução do aprendizado.

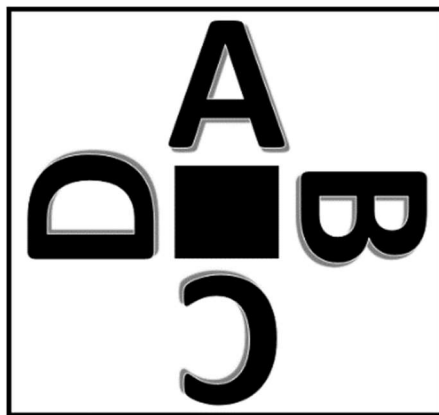


Figura 3.1 Cartões respostas para os testes avaliativos.  
Fonte: próprio autor.

O cartão resposta pode ser construído a partir de uma folha impressa contendo as quatro primeiras letras do alfabeto e colada numa cartolina na forma quadrada, para torná-lo mais resistente. Cada lado da cartolina recebe uma letra e, para que o aluno possa revelar a sua resposta ao professor, a letra que corresponde à resposta que o aluno considera correta deverá estar virada para cima.

### 3.4 AVALIAÇÃO

A avaliação, nessa proposta, acontece nas quatro aulas através dos testes avaliativos e da percepção do professor sobre o aprendizado dos alunos. Em cada aula, há um teste aplicado antes da explanação do assunto, com o intuito de avaliar o conhecimento dos alunos sobre o tema e um depois. Após o professor falar sobre o conteúdo, o teste é reaplicado, gerando uma nova percepção do professor sobre o entendimento dos alunos referente ao assunto.

A técnica utilizada para se receber as respostas dos alunos aos testes é a utilização dos cartões. Após a realização do teste avaliativo e debate com os colegas, os alunos levantam os cartões para cada resposta. O professor anota as respostas em cada etapa para posterior análise estatística.

## 4. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

A “célula solar” é uma construção simples constituída por 12 LED de alto brilho na cor vermelha, fixados numa placa de papelão em formato retangular, tendo o seu formato assim escolhido devido aos módulos fotovoltaicos comerciais mais comuns no mercado, ligados entre si em paralelo, através de solda, como mostra a Figura 4.1. Para se chegar a esse formato, utilizou-se um relógio digital à pilha no intuito de ligá-lo através da “célula solar”. Foram realizados testes com células com número menor de LED, mas o que apresentou o melhor resultado, nas condições do experimento, foi a com 12 LED.

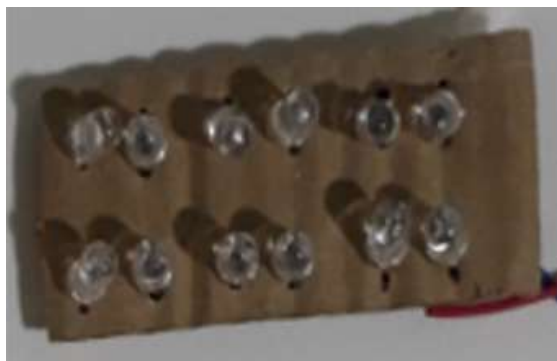


Figura 4.1 “Célula solar” construída com LED.

Fonte: próprio autor.

O experimento “célula solar” construído com LED já foi apresentado em outros trabalhos acadêmicos explorando outros contextos didáticos. Portanto, ele não é um objeto desenvolvido pelo mestrando. Entretanto, neste trabalho, ele será proposto num contexto específico, como material didático para a disciplina Fundamentos Fotovoltaicos no curso FIC Instalador de Sistemas Fotovoltaicos.

Para conhecer os trabalhos existentes que abordam os conceitos da geração de energia fotovoltaica em atividades experimentais foram realizadas pesquisas no site de pesquisa Google e Google Acadêmico (Google Scholar). Essas pesquisas retornaram alguns trabalhos relacionando o LED à produção de energia solar fotovoltaica, em diferentes abordagens. Uns trabalhos se empenharam em mostrar que o LED era capaz de produzir energia e alimentar um equipamento elétrico, outros comprovaram a produção de energia através da medição com multímetros dos parâmetros elétricos. Outra abordagem utilizada nos trabalhos pesquisados foi a questão do uso do material de baixo custo, citando o LED como um equipamento promissor capaz de produzir energia.

Para citar alguns autores que trouxeram o LED como fonte geradora de energia, tem-se Celestino, Cruz, Araújo *et al* [21] que apresentaram um trabalho denominado Laboratório de desenvolvimento de ideias: estudo do caso da construção de placa fotovoltaica de LED, no XLII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), cujo objetivo foi mostrar a geração de energia a partir de um LED. O arranjo físico do experimento foi realizado posicionando o LED no foco de um espelho côncavo construído com garrafas pet e caixas Tetra Pak, para maximizar a incidência de luz e assim gerar mais energia. Os dados obtidos foram a faixa de tensão e a potência de 2,1 V a 2,4 V e 11 mW, respectivamente, suficientes para alimentar um relógio digital ou calculadora, segundo autores.

Alves, Silva, Soeiro *et al.* [22] compararam LED de diferentes tamanhos, tipos e cores, com o objetivo de encontrar aqueles que apresentassem melhores características para reprodução de células solares, contribuindo para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia. Alguns resultados mostraram que os dispositivos de radiação



infravermelha apresentaram valores de tensão mais estáveis quando comparados aos LED brancos e azuis. Esse estudo foi apresentado no IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino-Americano de Engenharia e Sustentabilidade, em 2017. Ele pode contribuir para pesquisas futuras na seleção de LED para geração de energia.

Outra aplicação do LED para produção de energia pode ser vista no trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Estadual da Paraíba, pelo graduando em Licenciatura Plena de Física Matheus, Patrício B. Pereira. O autor utilizou LED de alto brilho nas cores azul e vermelha, realizando diversos arranjos. Os resultados mostraram que os LED vermelhos associados em série apresentaram respostas melhores no quesito geração de energia. O autor concluiu o trabalho relatando que os resultados foram considerados satisfatórios, pois alcançaram os objetivos de produzir energia e encontraram aplicação prática servindo de fonte de tensão para uma calculadora [23].

A Produção de uma Célula Solar com Materiais Alternativos foi um trabalho apresentado no II Congresso nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências pelos autores Santos e Oliveira [24]. O trabalho tem como foco a produção de uma célula solar construída com LED, material de baixo custo, utilizando LED vermelhos de 10 mm com encapsulamento transparente. Foram realizados testes a luz solar como também com luz de lâmpadas, visto que a apresentação foi realizada dentro da sala de aula. Os estudantes observaram a resposta da célula através de medidas de corrente com auxílio de um multímetro. Com a produção desta célula solar, os discentes puderam discutir sobre a conversão de energia solar em energia elétrica e conceitos científicos, tais como materiais semicondutores e ligação metálica.

Os autores Monteiro, Júnior, Nascimento e *et al* [25] escreveram sobre o Led como Fonte de Energia Solar. Nesse trabalho eles buscaram explicar o funcionamento de uma célula solar para a compreensão da transformação direta da energia solar em elétrica, acreditando que o contato dos alunos com tecnologias potencialmente transformadoras sensibilizá-los quanto à necessidade de uma busca de soluções conscientes para a sociedade, principalmente quando voltada ao meio ambiente e economia.

A revista “O Setor Elétrico” também publicou um importante trabalho utilizando os LED para gerar energia, intitulado de Utilização de LED na microgeração de energia solar fotovoltaica para pequenas cargas em estado de *stand-by*. Segundo os autores do artigo Barros, Queiroz e Leite [26] “o LED vermelho, nas medições dentro do laboratório (indoor), mostrou-se o melhor candidato para gerar energia elétrica por efeito fotovoltaico”. Eles também alimentaram uma calculadora digital com a fonte de energia a base de LED, concluindo que seria possível gerar energia a partir de LED para alimentar as lâmpadas de *stand by* dos aparelhos eletroeletrônicos.

Neste trabalho, entretanto, o arranjo experimental proposto é de uma “célula solar” construída com LED para experimentos que simulem os efeitos elétricos ocorridos num módulo fotovoltaico comercial. Nesse sentido, essa proposta se diferencia das outras apresentadas, a partir da pesquisa realizada, porque ela é dedicada a simular o comportamento de um módulo solar em condições de funcionamento real, num contexto de uma metodologia ativa, para ensino do conteúdo na disciplina Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica no Curso FIC Instalador de Sistemas Fotovoltaicos.

A consulta a esses trabalhos que tratavam do tema geração de energia elétrica utilizando LED foi importante pois ajudou na

definição do tipo de LED a ser usado nessa proposta, os materiais acessórios que compõem o experimento e as possibilidades de aplicações. A partir da leitura dessas fontes definiu-se o LED vermelho de alto brilho, o uso de cabos jumpers como materiais para realização da atividade experimental, um relógio digital à bateria de 1,5V e uma fonte de luz. O multímetro também faz parte do arranjo para ajudar nas medições das grandezas elétricas e comprovação da geração de energia.

## 4.1 DESCRIÇÃO DO MATERIAL

### 4.1.1 LED

O LED Vermelho de Alto Brilho é um componente eletrônico que possui polarização, ou seja, dependendo da ligação que for feita com a fonte de energia ele permite ou não a passagem da corrente elétrica. A Figura 4.2 ilustra o LED e os terminais positivo e negativo.



Figura 4.2 LED de alta eficiência que emite luz na cor vermelha.

Fonte: próprio autor.

As especificações técnicas do LED escolhido para o experimento são:

- Tensão de alimentação: 2,0 — 2,2 V;
- Corrente máxima: 20 mA;
- Ângulo de abertura:  $18^\circ \sim 25^\circ$ ;
- Diâmetro do LED: 5 mm;
- Comprimento: 37 mm;
- Massa da unidade: 0,3 g.

#### 4.1.2 Lâmpada halógena

Lâmpada halógena<sup>1</sup> palito de 1000 W fixada num refletor, com Índice de Reprodução de Cores (IRC) igual a 100, sendo capaz de emitir uma luz como a luz do Sol. A Figura 4.3 mostra as especificações da lâmpada e o refletor em que ela é encaixada.



Figura 4.3 Refletor para encaixe da lâmpada halógena e as especificações técnicas da lâmpada.

Fonte: próprio autor.

---

<sup>1</sup> - lâmpadas halógenas são lâmpadas incandescentes com filamento de tungstênio contido em um gás inerte e com uma pequena quantidade de um elemento halogênio como iodo ou bromo (Wikipedia, 2020)

### 4.1.3 Suporte para apoio das células

Para os ensaios com as células foi usado um suporte com movimento giratório, como mostra a Figura 4.4, tornando possível posicioná-las nas direções vertical, inclinada e horizontal.



Figura 4.4 Suporte para apoio das células solares.  
Fonte: próprio autor.

### 4.1.4 Jumper

São cabos elétricos próprios para uso em circuitos eletrônicos, como construção de circuitos em placas prototipadas<sup>2</sup> ou outros suportes. A Figura 4.5 mostra alguns *jumppers*.

---

<sup>2</sup> - Placas prototipadas são estruturas simples que permitem a conexão de diversos componentes eletrônicos para ensaios e testes.



Figura 4.5 Jumper.  
Fonte: próprio autor.

### 4.1.5 Aparelho multímetro

O multímetro digital foi utilizado nos experimentos para medir tensão e corrente nos circuitos das células fotovoltaicas. Em especial, o aparelho escolhido tinha uma escala de corrente na ordem de microampère ( $\mu\text{A}$ ), para que fosse possível fazer as leituras de correntes dos circuitos ensaiados neste trabalho. Uma ilustração dele é mostrada na Figura 4.6.



Figura 4.6 Multímetro digital.  
Fonte: próprio autor.

#### 4.1.6 Base de realização dos experimentos

As experiências foram realizadas sobre uma base de madeira composta por duas placas brancas, como mostra a Figura 4.7. O refletor foi fixado sobre uma das placas, posicionado de forma que a luz fosse emitida no plano horizontal. Um cabo com tomada e interruptor foi instalado para comando da lâmpada. Uma marcação de 70 cm foi feita sobre a base para que se pudesse criar referência para as realizações dos experimentos. Todo conjunto da base de realização dos experimentos é desmontável e de fácil transporte.



Figura 4.7 Base de realização dos experimentos.

Fonte: próprio autor.

### 4.1.7 Anteparo translúcido

O anteparo translúcido foi utilizado no experimento para bloquear parcialmente a luz da fonte que chega até a célula solar. Ele foi construído com uma moldura de papelão e folhas de papel vegetal, como mostra a Figura 4.8.

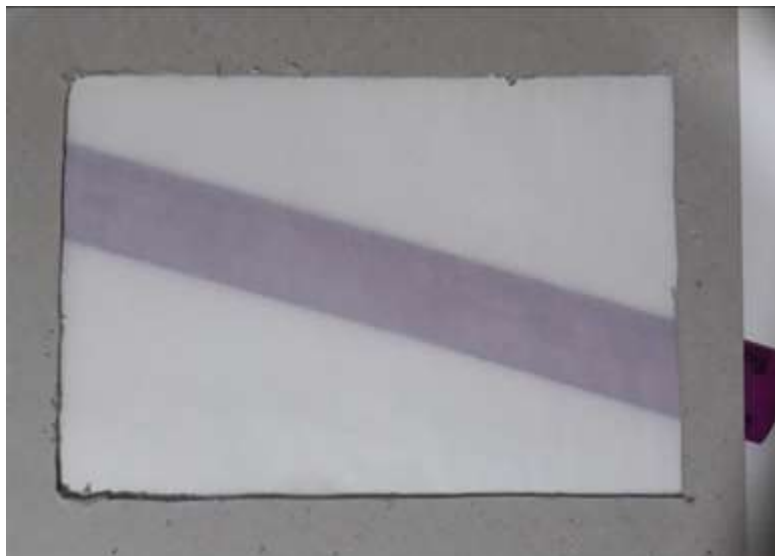


Figura 4.8 Anteparo translúcido para bloqueio parcial da luz emitida pela fonte.  
Fonte: próprio autor.

### 4.1.8 Relógio digital

A carga elétrica a ser acionada pela célula solar considerada neste trabalho foi um relógio digital, originalmente alimentado por uma bateria de 1,5 V, como ilustra a Figura 4.9





Figura 4.9 Relógio digital utilizado como carga a ser acionada pela célula solar.  
Fonte: próprio autor.

#### 4.1.9 Placa prototipada

A placa prototipada (*protoboard*) foi utilizada nos experimentos para garantir uma resistência de contato constante na conexão da célula solar com o multímetro ou com o relógio, evitando assim, possíveis divergências nas medições ou no acionamento da carga devido à resistência de contato na ligação entre os cabos. A figura da placa prototipada é mostrada na Figura 4.10.

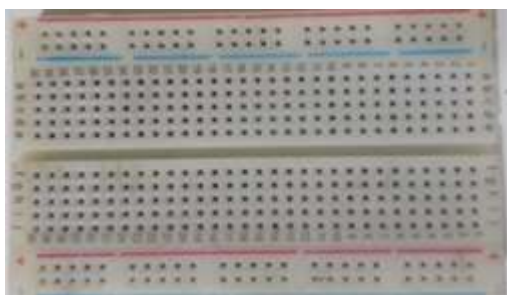


Figura 4.10 Placa prototipada.  
Fonte: próprio autor.

#### 4.1.10 Potenciômetro

Dois potenciômetros de 1 M $\Omega$  cada foram utilizados no experimento relacionado com o traçado da curva I-V. A figura 4.11 mostra o potenciômetro com dois cabos jumpers soldados em seus terminais para conexão no *protoboard*.



Figura 4.11 Potenciômetro de 1 M $\Omega$ .

Fonte: próprio autor.

### 4.2 RESULTADO DOS EXPERIMENTOS

#### 4.2.1 LED como “célula solar” – uma fonte de energia elétrica

A produção de energia pela “célula solar” pode ser verificada a partir de um experimento no qual um relógio digital foi alimentado por ela, como mostrado na Fig. 4.12.

Neste experimento, a fonte de luz foi posicionada a 70 cm da “célula solar” e um relógio digital de 3V foi conectado a ela. A Figura 4.12(a) mostra o experimento realizado e a Figura 4.12(b) mostra um esquema elétrico do circuito de ligação do relógio.

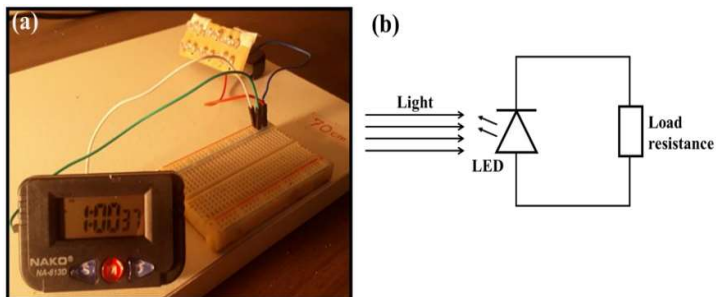


Figura 4.12 (a) "Célula solar" iluminada pela lâmpada e o relógio digital conectado a ela. (b) Diagrama esquemático do circuito elétrico. Aqui o símbolo de LED representa o conjunto de LED.

Fonte: próprio autor

## 4.2.2 Variação da geração de energia pela "célula solar" em função de sua posição em relação à fonte de luz

A verificação do comportamento da "célula solar" foi realizada analisando a variação da corrente elétrica gerada por ela em 2 situações: (a) variação no ângulo de inclinação ( $\beta$ ) da "célula solar" (Figura 4.13); (b) variação do ângulo azimutal ( $\gamma$ ), usando os ângulos notáveis (Fig. 4.14).

(a) Variação do ângulo de inclinação ( $\beta$ ) da "célula solar".

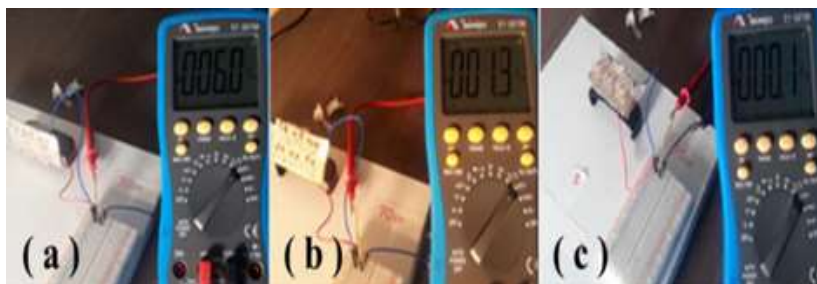


Figura 4.13: (a)  $\beta = 90^\circ$ , (b)  $\beta = 45^\circ$ , e (c)  $\beta = 0^\circ$ .

Fonte: próprio autor.

Conforme mostrado na Figura 4.13, ao variar o ângulo ( $\beta$ ), posição da “célula solar” em relação ao plano horizontal, o multímetro, na função de medir corrente, apresenta valores menores à medida que ( $\beta$ ) diminui. Este experimento simula a variação que ocorre na geração de energia de um painel solar, devido às diferentes inclinações dos telhados em que os painéis são instalados.

(b) Variação do ângulo azimutal ( $\gamma$ ).

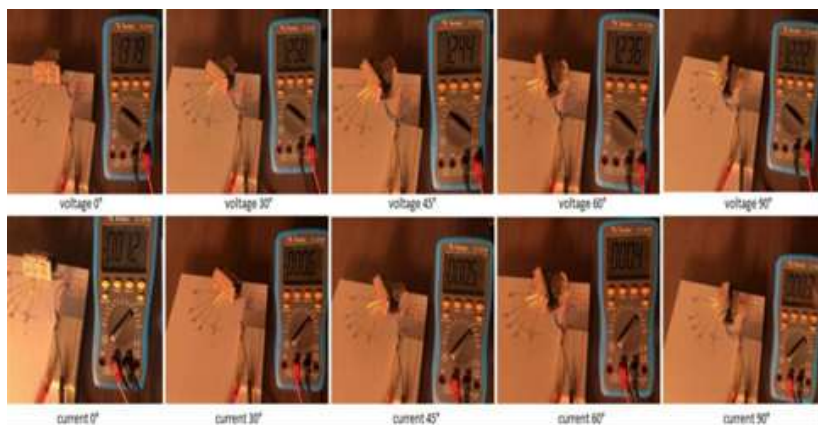


Figura 4.14 Dependência do ângulo azimutal  $\gamma$  da tensão e da corrente através da "célula solar".

Fonte: próprio autor.

Conforme mostrado na Figura 4.14, ao variar o ângulo azimutal ( $\gamma$ ) da "célula solar", tomando em conta os ângulos notáveis ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $90^\circ$ ), o multímetro mostra uma pequena variação na tensão, mas revela uma variação considerável na corrente, indicando o quando a “célula solar” diminui sua produção de energia quando posicionada com sua face fora da direção da luz da fonte.

A comparação por meio gráfico entre as variações das grandezas tensão e corrente é mostrada na Figura 4.15, em que se pode ver a dependência da tensão e de corrente com relação aos ângulos notáveis na “célula solar”.

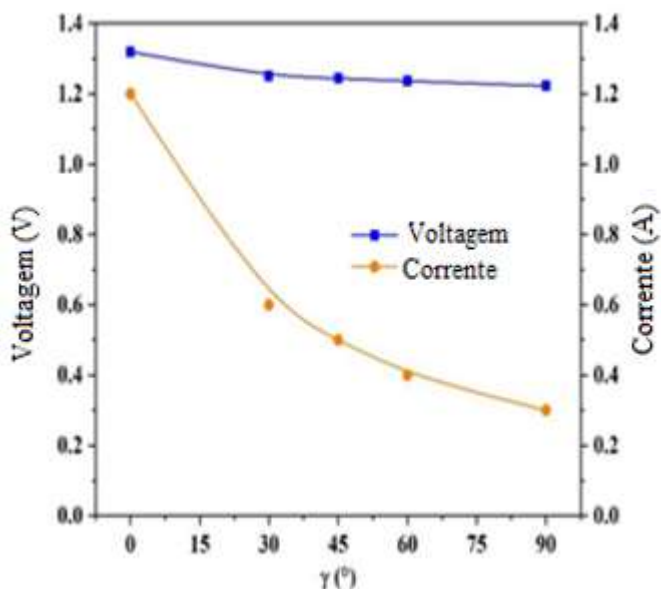


Fig. 4.15 Dependência do ângulo azimutal ( $\gamma$ ) da tensão entre (quadrados azuis) e corrente através (círculos laranjas) da “célula solar” (conjunto de LEDs).

Fonte: próprio autor.

Este experimento simula a variação ( $\gamma$ ) que ocorre na geração de energia de um painel solar, devido às diferentes posições do telhado em relação ao norte direção geográfica das coberturas nas quais os painéis são instalados.

### 4.2.3 Variação da geração de energia pela "célula solar" devido à presença de uma tela construída com papel translúcido entre ele e a fonte

O experimento foi realizado colocando a tela construída com papel translúcido entre a fonte de luz e a "célula solar", para simular um dia nublado. O resultado dessas medições foi plotado num gráfico, como mostra a Figura 4.16.

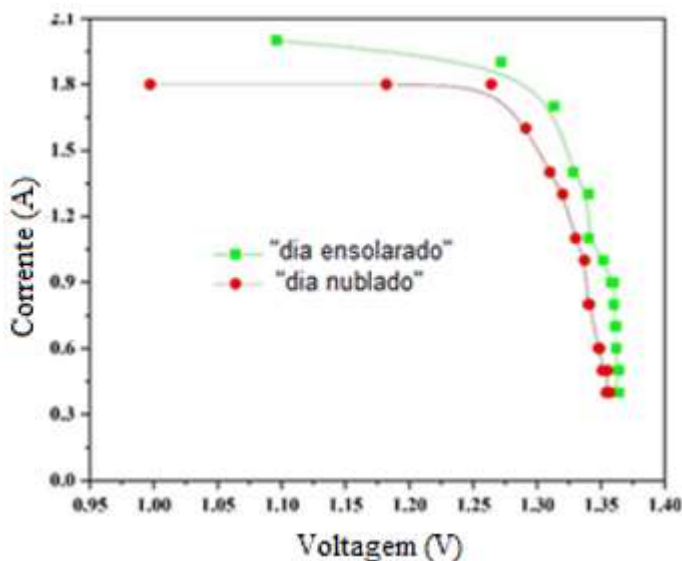


Figura 4.16 Curvas I-V geradas a partir da variação das resistências nos reostatos, considerando o sistema com tela entre fonte de luz e "célula solar" (círculos vermelhos) e sem tela (quadrados verdes).

Fonte: próprio autor.

Pode-se ver no gráfico da Figura 4.16 que a geração de corrente elétrica diminui quando a tela translúcida está bloqueando parte da luz da fonte para a "célula solar". Portanto, a produção de energia também diminui nessas condições. Este experimento simula o que acontece com a geração de energia em um módulo

solar quando o tempo está nublado, bloqueando parte da passagem da luz solar para o módulo. Nessa situação, como demonstrado na experiência, a produção de energia pelo módulo diminui.

#### 4.2.4 Curvas $I-V$ e $P-V$ da “célula solar”

O desempenho das grandezas elétricas numa “célula solar” construída com LED pode ser mostrado através dos gráficos de corrente versus tensão (curva  $I-V$ ), e potência versus tensão (curva  $P-V$ ). Na Figura 4.17 estão ilustradas essas curvas.

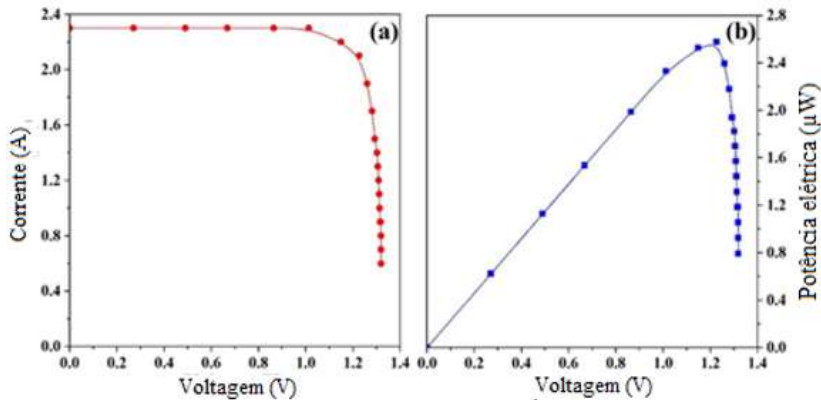


Fig. 4.17 Características da “célula solar” (conjunto de LEDs): **(a)** curva de corrente *versus* tensão (curva  $I-V$ ) e **(b)** Curva potência elétrica *versus* tensão (curva  $P-V$ ).

Fonte: próprio autor.

A partir da Figura 4.17(a) pode-se a corrente de curto-circuito  $I_{sc} = 2,3$  mA, quando a resistência ( $R_L$ ) nos reostatos é zero e o circuito aberto, tensão  $V_{oc} = 1,3$  V, para quando a resistência no reostato é muita alta. Além das características e dos comportamentos da tensão e corrente, na Figura 4.17(b), tem-se também a curva de potência em que se percebe o ponto de máximo de potência que a “célula solar” é capaz de fornecer. Essa potência

é denominada nos *datasheet* dos fabricantes como potência de pico e é medida em Watt pico (Wp).

Os resultados dos experimentos apresentados neste capítulo, para uma “célula solar” construída com LED, estão de acordo com o comportamento e características elétricas apresentadas pelos módulos comerciais. Nesse sentido, este trabalho, propondo uma célula solar construída com LED, alternativa à encontrada no mercado, demonstrou que os fenômenos físicos apresentados pelos módulos fotovoltaicos, quando iluminados pela luz do Sol, podem ser reproduzidos utilizando-se a “célula solar” de LED. Esse fato é bastante relevante, pois facilita a demonstração dos fenômenos, no sentido de que as células solares comerciais, que compõem os módulos fotovoltaicos, não são encontradas facilmente e não têm preços acessíveis, quando comparadas aos LED.

Além do custo para a confecção das células solares com LED, outro ponto a favor é a resistência do material. A célula é composta de papelão e LED soldados uns aos outros apresenta maior resistência do que a sua versão comercial que é frágil e requer manuseio cuidadoso. A quebra de uma célula dessa poderia inviabilizar uma experiência.



## 6. SUPLEMENTAÇÃO PARA A PESQUISA

### 6.1 METODOLOGIA ATIVA *PEER INSTRUCTION*

A metodologia ativa *Peer Instruction*, que em tradução livre pode significar Instrução por pares (IpC), é um método de ensino que tem como principal objetivo explorar a interação entre os alunos e focar a atenção dos estudantes nos conceitos que servem de fundamento. Em essência, por meio desse método, propõe-se uma alteração na dinâmica da sala de aula de modo que os alunos auxiliem uns aos outros no entendimento dos conceitos apresentados para que, em seguida, sejam conduzidos pelo professor no aperfeiçoamento desse aprendizado por meio de questões dirigidas. Os alunos são encorajados a emitirem opiniões e aprendem a ouvir e serem questionados, com isso tornam-se mais maduros e seguros de suas próprias convicções. Este método procura potencializar o envolvimento do aluno com o conteúdo e a interação entre os pares, promovendo o aprendizado colaborativo.

O criador dessa metodologia é o cientista e pesquisador Eric Mazur, professor de Física e Física Aplicada na *Harvard University*, nos Estados Unidos da América. Esse método surgiu no início da década de 1990, quando Mazur estudou uma série de artigos de Halloun e Hestenes,<sup>3</sup> que tratavam de mostrar a ineficiência do ensino em tentar mudar concepções errôneas trazidas pelos alunos, a partir de uma construção do senso comum, sobre fenômenos físicos. Por meio dos estudos e observações ele percebeu que “embora os métodos convencionais de Ensino de

---

<sup>3</sup> - Ibrahim Abou Halloun e David Hestenes, *Am. J. Phys.*, 53, (1985), 1043; *ibid.* 53, (1985), 1056; *ibid.* 55, (1987), 455; David Hestenes, *Am. J. Phys.*, 55, (1987),

Física tenham produzidos muitos cientistas e engenheiros, um número grande demais de estudantes não se motivava por esses métodos de ensino” [20] e, em geral tinham mais habilidades para solucionar problemas numéricos do que os conceituais.

O sucesso dessa metodologia, segundo o autor Eric Mazur, depende de como o professor utiliza o livro didático e conduz as aulas expositivas. Para o referido autor:

É necessário que os livros e as aulas expositivas desempenhem papéis diferentes dos que costumam exercer em uma disciplina convencional. Primeiro, as tarefas de leitura do livro, realizadas antes da aula, introduzem o material. A seguir, as aulas expositivas elaboram o que foi lido, esclarecem as dificuldades potenciais, aprofundam a compreensão, criam confiança e fornecem exemplos adicionais. Finalmente, o livro serve de referência e guia de estudo [20].

Nessa metodologia as aulas consistem em uma série de apresentações curtas sobre o conteúdo em estudo. O professor não detalha o assunto como é apresentado nos livros, mas comenta apenas os principais tópicos, seguindo de testes conceituais – questões lançadas para os alunos relacionadas com a matéria. Então, após o professor apresentar a questão, ele espera o tempo necessário para que os alunos formulem as suas respostas e, em seguida, discutam-na entre si. “Esse processo força os estudantes a pensar com base nos argumentos que estão sendo desenvolvidos e dá-lhes um modo de avaliar a sua compreensão do conceito” [20].

Os testes conceituais, em geral, são aplicados de forma que os alunos, inicialmente, respondem individualmente às questões e, em seguida, são encorajados a discutirem com os seus pares suas respostas. Nesse momento de debate, os alunos podem oferecer outras explicações aos colegas que são mais elucidativas do que as que foram dadas pelo professor, possibilitando ao aluno que havia tido um entendimento errado do assunto repensar e corrigir a sua

resposta. Para Mazur, esse debate entre os pares é importante porque aqueles alunos que acabaram de entender o conceito relacionado à questão dada, estão mais cientes das dificuldades que tiveram para compreendê-la, conseqüentemente eles sabem exatamente o que enfatizar em suas explicações [20].

Conforme o número de acertos, o professor pode decidir por: (i) explicar a questão e retomar o processo de exposição dialogada sobre um novo tópico. Essa opção é aconselhada se mais de 70% dos estudantes votarem na resposta correta (ii) formar pequenos grupos de dois a cinco alunos, que tenham, preferencialmente, escolhidos respostas diferentes, para um novo ciclo de debate, com a intenção de haver um consenso de qual seria a resposta certa. Após alguns minutos, o professor analisa novamente as respostas e, se julgar necessário, ele apresenta outra questão sobre o mesmo tópico, ou passa diretamente para a exposição do próximo assunto. Essa ação deve ser tomada caso o percentual de acertos obtidos na primeira votação esteja entre 30% e 70%. (iii) retomar o conteúdo, explicando-o sob nova perspectiva, buscando aclará-lo e apresentando outra questão conceitual ao final da explanação. Esse caso é aconselhável se menos de 30% das respostas estiverem corretas [27].

A Figura 2.1 ilustra o processo de aplicação do método. A parte em destaque, compreende a essência do IpC.

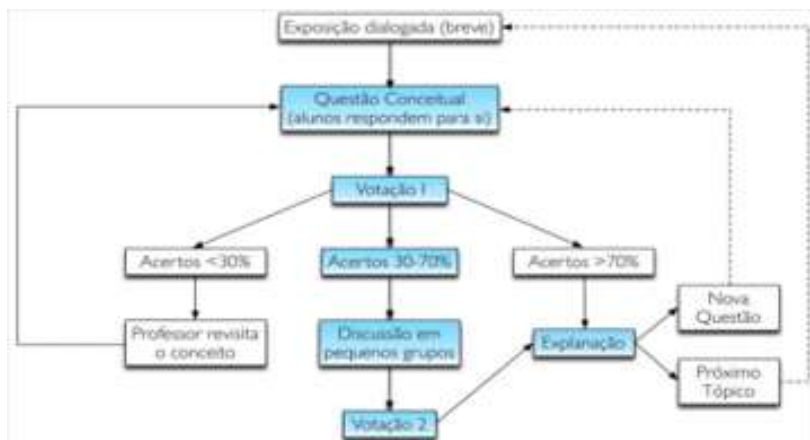


Figura 2.1 Diagrama de processo de implementação do método IpC.

Fonte: [27]

É importante salientar que o intervalo de acertos entre 30% e 70% não é universal, cabendo ao professor reajustar esses parâmetros segundo suas necessidades. O próprio autor Eric Mazur, em seu livro *Peer Instruction – A revolução da aprendizagem ativa*, num momento, quando explica o teste conceitual, diz que “se a porcentagem das respostas corretas for muito baixa (digamos, menos de 30%), eu ensino novamente o mesmo tópico com mais detalhes” [20]. Porém, numa outra passagem, quando apresenta um exemplo de aula, o autor considera que “se aproximadamente 20% dos estudantes dessem respostas erradas após a discussão, eu provavelmente usaria um tempo extra” [20]. Mas, “quando a porcentagem de respostas corretas for acima for igual ou maior que 80%, eu passo para a terceira lei de Newton” [20]. Portanto, esse critério deve ser avaliado pelo professor, levando em consideração a realidade da turma.

Uma das grandes vantagens dessa metodologia é que ela fornece *feedback* imediato sobre o entendimento dos alunos a respeito do conteúdo, pois o retorno das respostas é feito logo

após se encerrarem as discussões entre os estudantes. Dependendo da situação e do propósito, o retorno das respostas pode ser dado com os alunos levantando as mãos para sinalizarem o item da questão que eles julgam correto. Porém, além dessa opção, outras formas podem ser usadas como o *flash cards*, cartões que sinalizam as respostas escolhidas pelos estudantes e sistema interativo de resposta com computador, denominado de *Classtalk*, em os estudantes passam suas respostas para o professor utilizando-se de diversos dispositivos como celular, *laptops*, calculadoras gráficas, entre outras. Cada método de apresentação de respostas tem suas vantagens e desvantagens, mas o sucesso não depende do método de *feedback* e, portanto, não depende de recursos financeiros ou tecnológicos.

Apesar do foco da IpC ser na Física, onde teve origem, nas disciplinas de Física na década 1990, é importante destacar que esses métodos vêm sendo usados com sucesso também em outras áreas tais como Biologia [28], Química [29], Filosofia, Lógica e Pensamento Crítico [30]. Essa possibilidade de IpC ser implementada em outras áreas corrobora com a ideia de utilizá-la na disciplina de Fundamentos de Sistema Fotovoltaico no curso de Formação Inicial e Continuada de Instalador de Sistemas Fotovoltaicos.

## 6.2 DELINEAMENTO QUASE EXPERIMENTAL

Os estudos Quase Experimentais (QE) são definidos como aqueles que não contemplam todas as etapas de um estudo experimental verdadeiro. Eles são geralmente utilizados quando um controle experimental completo não é possível e, em consequência disso, os resultados obtidos nesse experimento não tem a mesma validade do estudo experimental verdadeiro. Isso ocorre devido à ausência de randomização dos sujeitos nos grupos

experimento e do controle que não permite a equivalência entre os grupos no começo do estudo.

O Delineamento QE surgiu a partir da necessidade de se realizar pesquisas aplicadas, quando o grau de controle, como nos delineamentos experimentais propriamente ditos, não é possível [31] e as razões para a realização desse estudo decorrem da natureza da variável independente ou do perfil dos sujeitos.

Os estudos QE não objetiva fazer generalizações, mas, a partir de testagem de hipótese e eliminação de variáveis, levantar questões pertinentes que permitam estudos futuros mais profundos, favorecendo argumentações teóricas para questionamentos que venham a surgir. Ele se caracteriza por não necessitar de longos períodos de observação e coleta de dados, constituindo assim uma classe de estudos de natureza empírica em que estão ausentes o controle completo e a aleatoriedade na seleção de grupos. A validade interna desse tipo de estudo baseia-se na escolha da amostra ou grupo de incidência não aleatório [32].

No estudo QE, o grupo controle é comumente chamado de grupo de comparação, devido ao fato de não atender aos requisitos de aleatoriedade e não poder ser completamente equivalente ao grupo experimento. O desenho de série de temporal envolve um único grupo. Nesse caso, o fenômeno de interesse é medido ao longo do tempo e a intervenção é inserida num momento oportuno. O uso de um período amplo para coleta de dados visa minimizar ameaças à validade dos dados e efeitos de história (tendência temporal) [32].

As vantagens de se trabalhar com um desenho QE recaem principalmente sobre sua aplicabilidade, visto que num contexto da sala de aula, em determinadas situações, um experimento verdadeiro exigiria um rigor muitas vezes impossível de ser conseguido. Nesse sentido, um delineamento QE de uma proposta para a sala de aula poderia trazer novas possibilidades de análise de

resultados sobre a turma em foco, mesmo que num universo mais curto, trabalhando somente com a turma em questão.

As pesquisas QE podem ser realizadas com séries cronológicas ou temporais, com análise de variáveis após o fato ocorrido (*ex post facto*), com a análise comparativa entre grupos de controle e grupos experimentais ou ainda, pela aplicação de diversos pré e pós-testes a um mesmo grupo. Delineamentos de séries temporais são extensões do pré experimental de pré e pós-teste com um determinado grupo [32].

Conforme Campbell e Stanley [33], sobre suas argumentações para se definir um Delineamento Quase Experimental, existem muitas configurações sociais naturais nas quais o pesquisador pode introduzir um design experimental em seu procedimento de coleta de dados, mesmo que ele não tenha controle total sobre os estímulos experimentais (o “quando” ou “a quem” da exposição, bem como a capacidade de randomizar exposições), o que torna possível um experimento verdadeiro. Coletivamente, essas situações podem ser consideradas delineamentos quase experimentais [33].

A pesas de a vantagem de poder ser aplicado quando não se tem grupos grandes para amostra e comparação entre eles, uma das principais desvantagens do delineamento QE é o potencial de generalização reduzido, com resultados menos conclusivos. Assim, a associação causal não pode ser feita de maneira tão segura como ocorre no experimento verdadeiro. Segundo [33], outro ponto de questionamento sobre o delineamento QE é a aleatoriedade presente no estudo experimental, mas não considerada em QE. Entretanto, isso pode ser sondado em QE para garantir que não sejam artificialmente responsáveis pelos resultados. Cook [34] argumenta ainda que as ameaças devem ser descartadas por desenho experimental, medindo e, estatisticamente, avaliando sua influência na relação tratamento-resultado.

De acordo com Cozby [31] a importância é que os delineamentos quase-experimentais, apesar de serem utilizados para diversos objetivos, são especialmente utilizados na avaliação de programas, em que se propõe e implanta programas para atingir algum efeito positivo sobre um grupo de indivíduos. Os programas devem ser avaliados em termos de avaliação das necessidades, avaliação da teoria do programa, avaliação do processo, avaliação do resultado e avaliação da eficiência. (...) os estudos experimentais têm como objetivo encontrar a causalidade dos eventos por meio da investigação das relações que se estabelecem entre a variável independente e também dependente para controlar comportamentos. Já os estudos quase experimentais também procuram estabelecer relações entre variáveis. No entanto, estes estudos são utilizados quando não é possível atingir o mesmo grau de controle do que os delineamentos experimentais propriamente ditos.

Diferente de alguns estudos já apresentados envolvendo delineamentos QE, neste trabalho a proposta é aplicar o mesmo tratamento de série temporal ou cronológica a todos os alunos participantes, durante o período de aula.

### 6.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA PELO GANHO DE HAKE NORMALIZADO

O Ganho de Hake é um método utilizado para se medir o progresso do aluno através de uma equação que relaciona as pontuações dos testes inicial, antes do desenvolvimento do conteúdo, e final, após o desenvolvimento do conteúdo. Na equação (7.1) que calcula o ganho, o numerador está relacionado com o ganho efetivo obtido pelo aluno nos resultados dos testes e o denominador com o desempenho máximo que poderá ser alcançado.



$$g = \frac{\%teste\ inicial - \%teste\ final}{100 - \%teste\ inicial} \quad \text{Eq. 2.1}$$

Os valores do ganho de Hake normalizado figuram entre 0 e 1 (0% a 100%), sendo que valores mais altos correspondem a uma melhora de desempenho mais acentuada e valores negativos (que correspondem a perdas e não ganhos) são desconsiderados na análise.

Hake [22] verificou que o ganho médio normalizado em turmas em que são aplicados métodos interativos de ensino, como é o caso da IpC, situa-se entre 0,3 e 0,7 (30% a 70%), os quais geralmente aparecem na literatura representados por retas, como mostrado na Figura 2.2 [35].

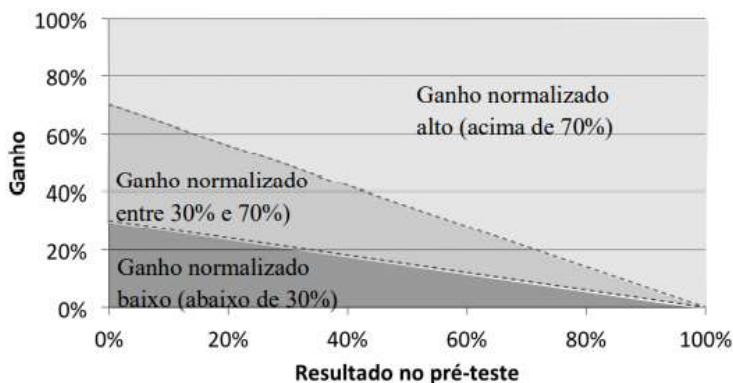


Figura 2.2 Relação entre os resultados nos testes e o ganho.

Fonte: Adaptado [35].

A utilização do Ganho de Hake normalizado para a avaliação de desempenho tem sido utilizada, tradicionalmente, há aproximadamente três décadas em diferentes turmas de disciplinas introdutórias no ensino de graduação em Física e em turmas que se utiliza de Práticas Interativas em sala de aula. Esses estudos

empíricos em diferentes universidades americanas têm demonstrado que a dinâmica pré-teste / aplicação de conteúdo / pós-teste apresenta potencial elevado para a melhoria da eficácia do ensino de graduação, da formação de professores e da educação da população em geral [36].

De acordo com Mazur [20], turmas *Peer Instruction* devem apresentar  $g > 0,36$ , sendo que o valor médio do ganho está entre  $0,10 < g < 0,20$  para classes submetidas a métodos “tradicionais”. Nesta proposta, a análise dos resultados obtidos nos testes avaliativos será feita utilizando-se o Ganho de Hake. O material para análise dos ganhos são os resultados dos testes, obtidos em cada aula. Assim será possível medir o progresso do aluno em cada etapa da disciplina. Esses resultados poderão ser comparados com a média obtida para estratégias que utilizam métodos “tradicionais” de ensino.

## REFERÊNCIAS

1. ABSOLAR. **Até 2050, 40% de toda a matriz energética do planeta será fotovoltaica** 2010. Disponível em < <https://bit.ly/3dqrOID>>. Acessado em 25 mar. 2020.
2. SZE, S. M; NG, K.K. **Physics of Semiconductors Devices**. 3ª Edição. New Jersey. Hoboken. 2007.
3. PALANDI, J; FIGUEIREDO, D. B; DENARDIN, J. C; MAGNAGO, P. R. Física Moderna. Universidade Federal de Santa Maria. Departamento de Física. Grupo de Ensino de Física. 2010.
4. GREEN, M. **Silicon Photovoltaic Modules: A Brief History of the First 50 Years**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2005
5. ABSOLAR. **Custos menores para a instalação de projetos para geração de energia solar**. 2019. Disponível em < <https://bit.ly/3dqrOID>>. Acessado em 23 mar. 2020.
6. BEZERRA, F. D. Energia Solar Fotovoltaica. **Caderno Central ETENE**. Banco do Nordeste, 2018.
7. NEAMEN, Donald A., **Semiconductor Physics and Devices** 3ª. Ed., McGraw-Hill, 2003.
8. <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/208-s/809-silicio.html>
9. CAMPOS, L. C. **Nanofios de óxido de zinco e nanofitas de grafeno: fabricação, estrutura e propriedades de transporte (opto)eletrônico**. Tese apresentada ao Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção de grau de doutor em Física abril de 2010.

10. SOUZA, J. R. P. S. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações para o ensino médio.** Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação do Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Belém do Para. 2016.
11. PINHO, J. T; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: cepel/cresesb, 2014.
12. CARNEIRO, J. Semicondutores: modelo matemático da célula fotovoltaica. Universidade do Minho. Departamento de Física. Azurém. 2010.
13. NEOSOLAR. **Placa Solar Fotovoltaica: tudo sobre.** SD. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/placa-solar-fotovoltaica>. Acesso em 05 jun. 2021
14. VILLALVA, M. G; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações.** Ed. Érica. Pinheiros, SP. 2012.
15. BICALHO, M. S; ARAÚJO, T. P; CARDOSO, R. B. Análise de desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede da Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira. **Revista brasileira de energias renováveis.** 2018.
16. CRESCB. Centro de Referências para Energia Solar e Eólica Sergio de S. Brito. **Módulos Fotovoltaicos.** 2008. Disponível em: < [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=331](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=331)>. Acesso em: 05 jun. 2021.
17. ARRUDA, L.B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos.** 2004. 230 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
18. SOUZA, C.S; IGLESIAS, A. G; PAZIN, A. Estratégias inovadoras para métodos de ensino tradicionais – aspectos gerais. **Medicina**, v. 47, n. 3, p. 284-292, 2014.

19. DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A.P. **Metodologia do Ensino de Ciências.** São Paulo: Cortez, 2000.
20. MAZUR, E. **Peer Instruction:** A revolução da aprendizagem ativa / Eric Mazur; tradução: Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Penso, p.252, 2015.
21. CELESTINO, D; CRUZ, P. H; ARAUJO, F. D. C; SILVA, Y.S; JUNIOR, F. A. S; CRUZ, O; CORTEZ, R. J. M. **Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica.** Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.
22. ALVES, L. C. A; SILVA, B. H. B; SOEIRO, B. E. T; AMAZONAS, J. G. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino-Americano de Engenharia e Sustentabilidade. **IX SBEA.** MG. 2017.
23. PEREIRA, B. P. M. **Usando o LED na produção de energia limpa e renovável: construção de mini placas solares fotovoltaicas.** UEB. PB. 2017.
24. SANTOS, D. O; OLIVEIRA, G. S. S; Produção de uma Célula Solar com Materiais Alternativos. **II Congresso nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências. CONAPESC.** 2017.
25. MONTEIRO, L. S; JÚNIOR, J. B. S; NASCIMENTO, L. S; AMORIM, M. F; ALVES, P. H. S; SILVA, R. K. Led como Fonte de Energia Solar. **Revista de Trabalhos Acadêmicos - Universo Recife.** 2016
26. BARROS, R.C; QUEIROZ, I. S; LEITE, F. A. Utilização de LEDs na microgeração de energia solar fotovoltaica para pequenas cargas em estado de stand-by. **Revista Setor Elétrico.** Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/LEDs-geradores-de-energia-solar>>. Acesso em 05 nov.2020.

27. ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.30, n.2, p. 362-384, 2013.
28. CROSSGROVE, K.; CURRAN, K. L. Using clickers in nonmajors- and majors level biology courses: student opinion, learning, and long-term retention of course material. **Life Sciences Education**, v. 7, n. 1, p. 146, 2008.
29. MCCREARY, C. L.; GOLDE, M. F.; KOESKE, R. Peer instruction in the general chemistry laboratory: Assessment of student learning. **Journal of Chemical Education**, v. 83, p. 804-810, 2006.
30. BUTCHART, S.; HANDFIELD, T.; RESTALL, G. Using Peer Instruction to Teach Philosophy, Logic, and Critical Thinking. **Teaching Philosophy**, v. 32, p. 1-40, 2009.
31. COZBY, C. P; **Métodos de Pesquisa em Ciências do Comportamento**. Atlas. São Paulo. 2003.
32. NASCIMENTO, C. B. C; **A Metodologia Ativa de Instrução pelos Colegas associada à Vídeo Análise de Experimentos: um ensaio na introdução de funções em turmas de 9º ano do Ensino Fundamenta. Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ensino de Ciências Mestrado Profissional em Ensino de Ciências**. Nilópolis. 2019.
33. CAMPBELL, D.T; STANLEY, J.C. **Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research**. Houghton Mifflin Company Boston. Palo Alto London, 1963.

34. COOK, T.D., CAMPBELL, D.T . **Quasi-Experimentation: Design and Analysis Issues for Field Settings.** MA. 1979.
35. VIEIRA, A. S. **Uma alternativa didática às aulas tradicionais: o engajamento interativo obtido por meio do uso do *Peer Instruction* (Instrução por Colegas).** UFRS, Instituto de Física – Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Mestrado Acadêmico em Ensino de Física. Porto Alegre. 2014.
36. GALHARDI, A. C; AZEVEDO, M. M. **O Ganho de Hake: uma técnica de avaliação de absorção de conhecimento e replanejamento de disciplina.** VIII Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza. SP. 2013

# APÊNDICE 1: TESTES AVALIATIVOS

## TESTE AVALIATIVO 1

NOME: \_\_\_\_\_

**Prof. Alexandre Barcellos**

1 – Dentre as diversas fontes de energia disponíveis no planeta Terra, podemos citar algumas que figuram atualmente no cenário mundial e nacional como as mais importantes, tais como: petróleo, carvão mineral e gás natural, hidráulica, eólica, solar, nuclear e biomassa.

Assinale a seguir as fontes energéticas mais utilizadas atualmente no Brasil e no Mundo. Considere em sua resposta a ordem decrescente de importância das fontes, sendo a primeira a mais utilizada e a última a menos utilizada dentre as opções.

- (a) Gás natural – Hidráulica – Petróleo – Eólica – Nuclear
- (b) Petróleo – Eólica – Gás natural – Hidráulica – Biomassa
- (c) Petróleo – Gás natural – Carvão mineral – Biomassa
- (d) Nuclear – Petróleo – Solar – Eólica – Carvão mineral

2 – Os combustíveis fósseis são aqueles também conhecidos como não renováveis e eles resultam de um processo de milhões de anos sob condições específicas de temperatura e pressão. As fontes de energia que pertencem a este grupo são finitas ou esgotáveis e para a maioria delas, a reposição na natureza é muito lenta. Quanto mais se usa as fontes de energia não renováveis, menos haverá no estoque total. Ao contrário dos combustíveis fósseis, as fontes de energia que pertencem ao grupo das renováveis são consideradas



inesgotáveis, pois suas quantidades se renovam constantemente ao serem usadas.

Assinale abaixo a resposta que indica corretamente exemplos de fontes renováveis e não renováveis

- (a) Renováveis: solar, eólica, nuclear – Não renováveis: petróleo, carvão, gás natural
- (b) Renováveis: solar, eólica, biomassa – Não renováveis: petróleo, carvão, nuclear
- (c) Renováveis: solar, eólica, carvão mineral – Não renováveis: petróleo, biomassa, nuclear
- (d) Renováveis: solar, biomassa, carvão mineral – Não renováveis: petróleo, eólica, nuclear

3 – A matriz energética é a composição de todas as fontes de energia que é utilizada para gerar energia para os mais diversos processos. Entretanto, pode-se considerar uma matriz energética apenas para a produção de energia elétrica. Nesse sentido, considerando apenas as fontes de energia que compõe a matriz energética para produção de eletricidade, marque a resposta correta que representa as fontes mais importantes para a produção de eletricidade no mundo, não levando em consideração o Brasil. Considere em sua resposta a ordem decrescente de importância das fontes, sendo a primeira a mais utilizada e a última a menos utilizada dentre as opções.

- (a) Petróleo, hidráulica, carvão mineral, gás natural, biomassa, nuclear,
- (b) Petróleo, carvão mineral, biomassa, nuclear, hidráulica, gás natural
- (c) Petróleo, carvão mineral, nuclear, gás natural, biomassa, hidráulica

- (d) Carvão mineral, Petróleo, hidráulica, gás natural, biomassa, nuclear,

4 – Considere agora apenas a matriz energética brasileira para produção de eletricidade. Sendo assim, marque a resposta correta que representa as fontes mais importantes para a produção de eletricidade no país.

- (a) Gás natural, hidráulica, biomassa, petróleo, carvão mineral, nuclear
- (b) Hidráulica, biomassa, petróleo, carvão mineral, Gás natural, nuclear
- (c) Nuclear, hidráulica, biomassa, petróleo, carvão mineral, Gás natural
- (d) Hidráulica, Gás natural, biomassa, carvão mineral, nuclear, petróleo,

## TESTE AVALIATIVO 2

NOME: \_\_\_\_\_

Prof. Alexandre Barcellos

1 – A radiação solar é a quantidade de energia por metro quadrado chega até a Terra diariamente. Observando o mapa abaixo, é correto afirmar que:

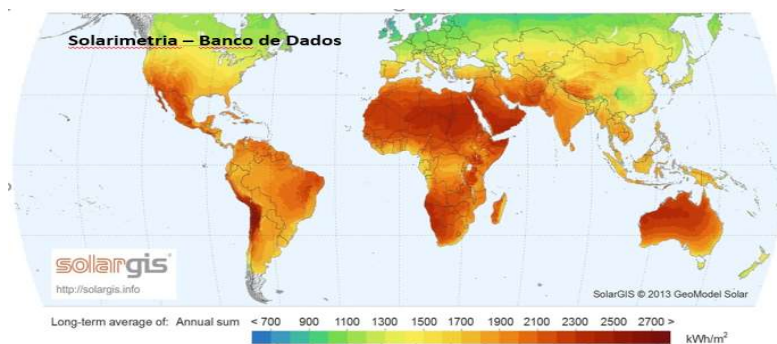


Figura Radiação solar no mundo.

Fonte: solargis.

- (a) Os locais que apresentam cor mais amarelada são mais propícios à instalação de energia solar
- (b) Os locais que apresentam cor mais esverdeada são mais propícios à instalação de energia solar
- (c) Olhando para o Brasil, o Sul do país é o local mais propício para instalação de energia solar
- (d) Olhando para o Brasil, o Nordeste do país é o local mais propício para instalação de energia solar

2 – O sistema fotovoltaico é um gerador de energia composto por um painel solar, onde a energia é captada, um inversor de frequência, onde a energia elétrica vinda do painel solar, é adequada

aos padrões da rede elétrica da concessionária e outros acessórios, como cabos elétricos e estruturas metálicas.

Sobre a captação de energia solar pelo painel é correto afirmar que:

- (a) O painel solar funciona transformando a energia térmica que incide sobre eles em eletricidade.
- (b) Quanto mais calor sobre e mais quente o painel, maior será a geração de energia elétrica
- (c) Quanto mais luz e mais frias o painel estiver, maior será a geração de energia elétrica
- (d) Para que a geração de eletricidade seja máxima pelo painel solar, basta que seja dia.

3 – As estações do ano num determinado local ocorrem em função da posição da Terra em relação ao Sol. Existem dois momentos no ano em que a Terra está mais perto e mais longe do Sol. O momento em que está mais perto é chamado de Periélio e mais longe Afélio. Sobre as estações do ano é correto afirmar:

- (a) Quando é verão num hemisfério, no outro é inverno
- (b) Quando a Terra se encontra no Afélio, todos os países estão no inverno
- (c) Quando a Terra se encontra no Periélio, é verão tanto no hemisfério norte quanto no hemisfério sul
- (d) Se no Brasil a estação do ano for primavera, nos EUA está frio, portanto, será inverno

4 – Quando a radiação solar atravessa a atmosfera, parte dela segue seu caminho sem sofrer interferência e parte é espalhada pela atmosfera. Ao incidirem na superfície terrestre, elas refletem e/ou são absorvidas. A figura abaixo ilustra essa situação.

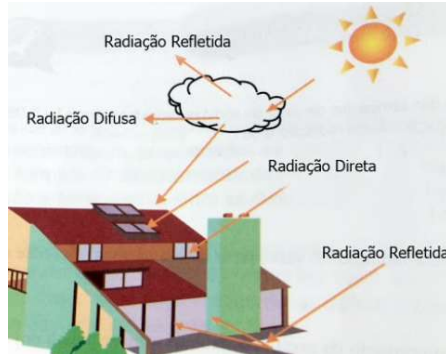


Figura Componentes da radiação solar

Fonte: <http://www.fcsolar.eco.br/aprenda-aqui/>

Sobre a geração de energia pelo painel solar é correto afirmar:

- (a) A principal componente para a geração de energia solar no painel é a refletida (albedo), pois é composta pela componente direta e a espalhada (difusa)
- (b) Em dias nublados, a principal componente para a geração de energia solar no painel é a difusa, pois a direta é praticamente toda bloqueada pelas nuvens.
- (c) Em dias nublados, a principal componente para a geração de energia solar no painel é a refletida pela superfície, pois ela acrescenta mais luz incidente no painel, além da difusa.
- (d) Em dias de céu limpo, sem nuvens, a principal componente para a geração de energia solar no painel é a difusa, pois ela, continua sendo a maior parcela de energia que chega até o painel.

### TESTE AVALIATIVO 3

NOME: \_\_\_\_\_

**Prof. Alexandre Barcellos**

1 – O sistema fotovoltaico é um gerador de energia composto por um painel solar, onde a energia é captada, um inversor de frequência, onde a energia elétrica vinda do painel solar, é adequada aos padrões da rede elétrica da concessionária e outros acessórios, como cabos elétricos e estruturas metálicas.

Sobre a captação de energia solar pelo painel é correto afirmar que:

- (a) O painel solar funciona transformando a energia térmica que incide sobre eles em eletricidade.
- (b) Quanto mais calor sobre e mais quente o painel, maior será a geração de energia elétrica
- (c) Quanto mais luz e mais frias o painel estiver, maior será a geração de energia elétrica
- (d) Para que a geração de eletricidade seja máxima pelo painel solar, basta que seja dia.

2 – A energia solar pode ser utilizada para gerar eletricidade e aquecimento de água. Dos sistemas abaixo, qual deles é destinado à geração de eletricidade e aquecimento solar térmico?

- (a) O sistema que utiliza um reservatório de água (boiler) utiliza a energia solar térmica para aquecimento de água, sendo disponibilizada em chuveiros e torneiras.
- (b) O sistema que utiliza um reservatório de água (boiler) utiliza a energia solar fotovoltaica para aquecimento de água, sendo disponibilizada em chuveiros e torneiras.

- (c) O sistema que utiliza equipamento conversor de frequência utiliza a energia solar térmica para aquecimento de água, sendo disponibilizada em chuveiros e torneiras.
- (d) O sistema que utiliza equipamento conversor de frequência utiliza a energia fotovoltaica para aquecimento de água, sendo disponibilizada em chuveiros e torneiras.

3 – Os sistemas fotovoltaicos mais comuns instalados em residências, localizadas nos centros urbanos, tem uma característica peculiar que o diferencia daqueles que são instalados com maior frequência nas zonas rurais. Sobre essa afirmativa é correto afirmar que:

- (a) Os sistemas instalados nas cidades, geralmente utilizam baterias para acumular a energia gerada durante o dia e não utilizam mais a energia da concessionária local.
- (b) Os sistemas instalados nas zonas rurais, geralmente não utilizam baterias para acumular a energia gerada durante o dia, porque a manutenção que elas geram dificulta muito o uso desse sistema.
- (c) Os sistemas instalados nas cidades, não utilizam baterias para acumular a energia gerada durante o dia. O que eles fazem é injetar a energia excedente na rede da concessionária local, para recebê-la em outro momento.
- (d) Os sistemas instalados nas zonas rurais, geralmente utilizam baterias para acumular a energia gerada durante o dia, mas mantem a sua conexão com a rede da concessionária local para mitigar o risco de ficar sem luz.

4 – Sobre os equipamentos que compõem os sistemas que funcionam conectados à rede da concessionária e os que

funcionam desconectados da rede da concessionária, é correto afirmar que:

- (a) Os sistemas conectados são conhecidos como off grid e utilizam placas solares, inversor e baterias, além dos acessórios.
- (b) Os sistemas desconectados são conhecidos como on grid e utilizam placas solares, inversor e baterias, além dos acessórios.
- (c) Os sistemas conectados são conhecidos como on grid e utilizam placas solares e inversor, além dos acessórios.
- (d) Os sistemas desconectados são conhecidos como off grid e utilizam placas solares e inversor, além dos acessórios.



## TESTE AVALIATIVO 4

**NOME:** \_\_\_\_\_

**Prof. Alexandre Barcellos**

1 – As instalações dos painéis solares são realizadas, sempre que possível, numa direção geográfica para maximizar a geração de energia. Sobre essa afirmativa, nos países do hemisfério sul, é correto dizer que a direção mais adequada é:

- (a) Norte
- (b) Sul
- (c) Leste
- (d) Oeste

2 – Ainda sobre a melhor direção geográfica para se instalar o painel solar, qual instrumento seria mais adequado para definir o posicionamento do painel a fim de se garantir o máximo de produção de energia?

- (a) Inclínômetro
- (b) Trena
- (c) Bússola
- (d) Câmera termográfica

3 – Devido ao movimento de rotação da Terra, o Sol ao longo do dia, percorre uma trajetória que vai de um ponto cardinal a outro. O local onde o Sol nasce é chamado de Nascer e onde ele se põe, Ocaso. Dentre as opções de resposta, qual delas seria a correta?

- (a) O Nascer sol no Oeste e o Ocaso no Leste, por isso os módulos devem estar voltados para o Sul geográfico
- (b) O Nascer sol no Leste e o Ocaso no Oeste, por isso os módulos devem estar voltados para o Norte geográfico
- (c) O Nascer sol no Norte e o Ocaso no Sul, por isso os módulos devem estar voltados para o Norte geográfico
- (d) O Nascer sol no Sul e o Ocaso no Norte, por isso os módulos devem estar voltados para o Sul geográfico

4 – A figura 4.1 mostra a posição do Sol em dois momentos extremos, no solstício de verão (S.V), dia do ano com maior duração, e no solstício de inverno (S.I), dia do ano com menor duração. A figura 4.2 mostra uma situação em que há um sistema solar instalado no telhado e um objeto próximo causando sombra em parte do painel. Observando as figuras A e B é possível afirmar que:

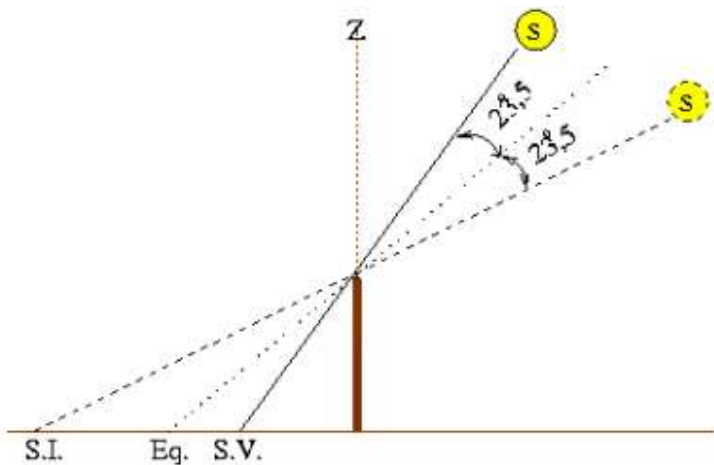


Figura A. Posição do Sol nos solstícios de verão (S.V) e inverno (S.I)

Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>



Figura B. Sombreamento de uma célula FV dentro de um módulo FV  
Fonte: PLANNING AND INSTALLING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS. A  
guide for installers, architects and engineers. Londres, 402 p. 2008.

- (a) A sombra será maior sobre o painel solar no verão, pois o Sol está mais alto
- (b) A sombra será maior sobre o painel solar na primavera, época em o Sol faz a transição para o verão
- (c) A sombra será maior sobre o painel solar no outono, época em que o Sol faz a transição para o inverno
- (d) A sombra será maior sobre o painel solar no inverno, pois o Sol está mais baixo